

DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT21 Aktenzeichen: 101 26 828.9  
22 Anmeldetag: 1. 6. 2001  
43 Offenlegungstag: 31. 1. 2002

## 30 Unionspriorität:

00-169083 01. 06. 2000 JP  
01-139079 09. 05. 2001 JP

## 71 Anmelder:

Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Toyota, Aichi, JP

## 74 Vertreter:

Kuhnen & Wacker Patentanwaltsgesellschaft mbH,  
85354 Freising

## 72 Erfinder:

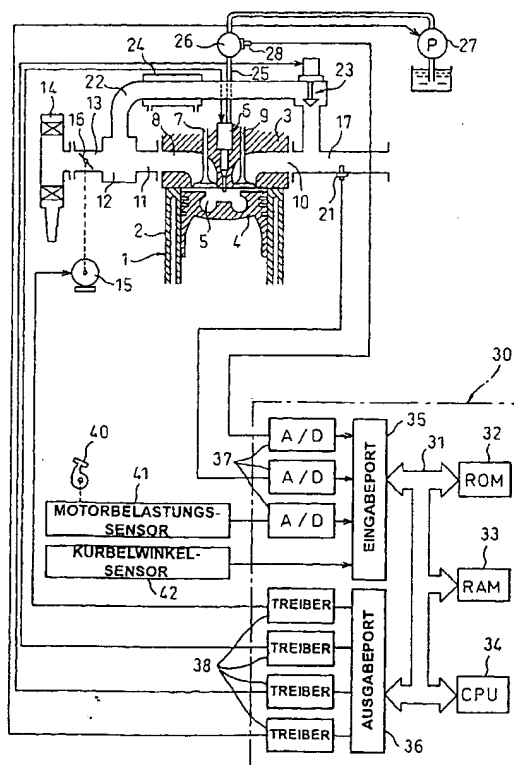
Hirota, Shinya, Toyota, Aichi, JP; Tanaka, Toshiaki,  
Toyota, Aichi, JP; Itoh, Kazuhiro, Toyota, Aichi, JP;  
Asanuma, Takamitsu, Toyota, Aichi, JP; Nakatani,  
Koichiro, Toyota, Aichi, JP; Kimura, Koichi, Toyota,  
Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

## 54 Vorrichtung zum Reinigen von Abgas bei einem Verbrennungsmotor

57 Es wird eine Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors offenbart. Die Vorrichtung umfaßt einen Katalysator, der in dem Abgassystem angeordnet ist, welcher  $\text{NO}_x$  absorbiert, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre davon mager ist, und welcher regeneriert wird, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis ein Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist, das das stöchiometrische oder fette Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist, einen Bypassmechanismus, um es möglich zu machen, daß zumindest ein Teil des Abgases den Katalysator umgeht, und eine Kraftstoffzuführeinheit zum Zuführen von Kraftstoff in die Nähe des Katalysators. Der Motor weist einen Inertgaszuführmechanismus zum Zuführen von Inertgas in den Zylinder auf und kann eine Niedrigtemperaturverbrennung, bei welcher eine Menge an Inertgas in dem Zylinder größer ist als die Grenzmenge eines Inertgases, das die maximale Menge an erzeugtem Ruß verursacht, und eine Normalverbrennung bei dem mageren Luft/Kraftstoff-Verhältnis ausführen kann. Wenn der Katalysator regeneriert wird, kann ein erster Regenerationsmodus, bei welchem das Abgas der Niedrigtemperaturverbrennung bei dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis macht, und ein zweiter Regenerationsmodus ausgewählt werden, bei welchem die Umgehungsvorrichtung zumindest einen Teil des Abgases veranlaßt, den ...



## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Reinigen von Abgas eines Verbrennungsmotors.

## 2. Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Das Abgas eines Verbrennungsmotors und insbesondere eines Dieselmotors enthält schädliches  $\text{NO}_x$ . Daher hat man vorgeschlagen, eine Katalysatorvorrichtung (im Folgenden kurz Katalysator) zum Absorbieren und Reduzieren von  $\text{NO}_x$  in dem Abgassystem anzuordnen. Der Katalysator absorbiert  $\text{NO}_x$  in der Form von Salpetersäureionen, wenn die Sauerstoffkonzentration in ihrer umgebenden Atmosphäre hoch ist, und setzt das absorbierte  $\text{NO}_x$  frei, wenn eine Sauerstoffkonzentration der umgebenden Atmosphäre niedrig wird. Der Katalysator absorbiert daher  $\text{NO}_x$  vorzugsweise im Abgas eines Dieselmotors, bei welchem die Verbrennung bei einer Sauerstoffüberschußbedingung stattfindet. Jedoch ist die Menge an  $\text{NO}_x$ , die in dem Katalysator in Form von Salpetersäureionen absorbiert werden kann, begrenzt und daher muß der Katalysator regeneriert werden, bevor eine Menge an absorbiertem  $\text{NO}_x$  die Menge an  $\text{NO}_x$  erreicht, die absorbiert werden kann, das heißt, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre stöchiometrisch oder reich bzw. fett gemacht wird bzw. eingestellt wird, so daß  $\text{NO}_x$  von dem Katalysator freigesetzt werden muß und durch reduzierende Materialien in der umgebenden Atmosphäre reduziert und gereinigt wird.

[0003] Zum Regenerieren des Katalysators wird den Zylindern oder dem Abgassystem Kraftstoff zugeführt, so daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre stöchiometrisch oder reich eingestellt wird, das heißt, ein Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis. Aber auch wenn das Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis realisiert wird, durchläuft der meiste zugeführten Kraftstoff lediglich den Katalysator mit dem Abgas und daher wird eine große Kraftstoffmenge für die Regeneration erforderlich. Daher steigt der Kraftstoffverbrauch ungewöhnlich an.

## KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0004] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Abgasreinigungsvorrichtung für einen Verbrennungsmotor zu schaffen, welche den Katalysator zum Absorbieren und Reduzieren von  $\text{NO}_x$  regeneriert, ohne daß der Kraftstoffverbrauch ungewöhnlich erhöht wird.

[0005] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zum Reinigen von Abgas eines Verbrennungsmotors geschaffen, die aufweist: einen Katalysator, der in dem Abgassystem angeordnet ist, welcher  $\text{NO}_x$  absorbiert, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis der umgebenden Atmosphäre mager ist, und welcher regeneriert wird, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis ein Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist, das das stöchiometrische oder reiche Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist; eine Bypass- bzw. Umleitungsvorrichtung, um zumindest einem Teil des Abgases das Umleiten bzw. Umgehen (bypass) des Katalysators zu ermöglichen; und eine Kraftstoffzufuhrvorrichtung zum Zuführen von Kraftstoff in die Nähe des Katalysators; wobei der Motor eine Inertgaszufuhrvorrichtung zum Zuführen von Inertgas in den Zylinder aufweist, und eine Niedrigtemperaturverbrennung durchführen kann, bei welcher eine Menge an Inertgas in dem Zylinder größer als die Grenzmenge an

Inertgas ist, die die maximale Menge an erzeugtem Ruß verursacht, und eine Normalverbrennung bei dem mageren Luft/Kraftstoff-Verhältnis durchführen kann; wobei wenn der Katalysator regeneriert wird, eine erste Regenerationsvorrichtung, bei welcher das Abgas der Niedrigtemperaturverbrennung bei dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis macht, und eine zweite Regenerationsvorrichtung, bei welcher die Bypassvorrichtung zumindest einen Teil des Abgases den Katalysator bei der normalen Verbrennung umgehen läßt und der Kraftstoff, der durch die Kraftstoffzufuhrvorrichtung zugeführt worden ist, das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis macht, ausgewählt werden kann.

[0006] Die Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0007] Es zeigt:

[0008] Fig. 1 eine vertikale schematische Schnittansicht eines Dieselmotors mit einer Abgasreinigungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0009] Fig. 2 eine vergrößerte vertikale Schnittansicht einer Brennkammer des Dieselmotors von Fig. 1;

[0010] Fig. 3 eine Bodenansicht eines Zylinderkopfs des Dieselmotors in Fig. 1;

[0011] Fig. 4 eine vergrößerte vertikale Schnittansicht der Brennkammer in Fig. 1;

[0012] Fig. 5 eine Ansicht, die eine Beziehung zwischen den Hubbeträgen des Einlaßventils und des Abgas- bzw. Auslaßventils und der Kraftstoffeinspritzung zeigt;

[0013] Fig. 6 eine Ansicht, die Mengen an erzeugtem Rauch,  $\text{NO}_x$  und dergleichen zeigt;

[0014] Fig. 7(A) und 7(B) Ansichten, die einen Verbrennungsdruck zeigen;

[0015] Fig. 8 ist eine Ansicht, die Kraftstoffmoleküle zeigt;

[0016] Fig. 9 eine Ansicht, die eine Beziehung zwischen der Menge an erzeugtem Rauch und der EGR-Rate zeigt;

[0017] Fig. 10 eine Ansicht, die eine Beziehung zwischen der Menge an eingespritztem Kraftstoff und der Menge an gemischtem Gas zeigt;

[0018] Fig. 11 eine Ansicht, die den ersten Betriebsbereich (I) und den zweiten Betriebsbereich (II) zeigt;

[0019] Fig. 12 eine Ansicht, die den Ausgang des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors zeigt;

[0020] Fig. 13 eine Ansicht, die den Öffnungsgrad der Drosselklappe und dergleichen zeigt;

[0021] Fig. 14 eine Ansicht, die das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem ersten Betriebsbereich (I) zeigt;

[0022] Fig. 15(A) eine Ansicht, die einen Ziel- bzw. Sollöffnungsgrad der Drosselklappe zeigt;

[0023] Fig. 15(B) eine Ansicht, die einen Sollöffnungsgrad des EGR-Steuerventils zeigt;

[0024] Fig. 16 eine Ansicht, die ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis in dem zweiten Betriebsbereich (II) zeigt;

[0025] Fig. 17(A) eine Ansicht, die einen Zielöffnungsgrad des Drosselventils zeigt;

[0026] Fig. 17(B) eine Ansicht, die einen Zielöffnungsgrad des EGR-Steuerventils zeigt;

[0027] Fig. 18 eine Draufsicht, die den Umschaltabschnitt und den Katalysator zum Absorbieren und Reduzieren von  $\text{NO}_x$  in dem Abgassystem aus der Nähe zeigt;

[0028] Fig. 19 eine Seitenansicht von Fig. 18;

[0029] Fig. 20 eine Ansicht, die die andere Absperriposi-

tion des Ventilkörpers zeigt, die sich von der in Fig. 18 in dem Umschaltabschnitt gezeigten unterscheidet;  
**[0030]** Fig. 21 eine Ansicht, die die Mittenposition des Ventilkörpers in dem Umschaltabschnitt zeigt;  
**[0031]** Fig. 22(A) eine Vorderansicht, die den Aufbau des Katalysators zum Absorbieren und Reduzieren von  $\text{NO}_x$  zeigt;  
**[0032]** Fig. 22(B) eine Seitenschnittansicht, die den Aufbau des Katalysators zeigt;  
**[0033]** Fig. 23(A) und 23(B) Ansichten, die die Absorptions- und Freisetzungssaktionen von  $\text{NO}_x$  erläutern;  
**[0034]** Fig. 24(A) und 24(B) Speicherabbildungen (maps) von Mengen an absorbiertem  $\text{NO}_x$  pro Zeiteinheit;  
**[0035]** Fig. 25 ein erstes Flußdiagramm zum Regenerieren des Katalysators;  
**[0036]** Fig. 26(A) und 26(B) Ansichten, die die Oxidationsaktion bzw. -wirkung der Partikel erläutert;  
**[0037]** Fig. 27 eine Ansicht, die die Beziehung zwischen der Menge an Partikeln, die oxidiert und entfernt werden können, und der Temperatur des Katalysators zeigt;  
**[0038]** Fig. 28(A), 28(B) und 28(C) Ansichten, die die Ablagerungswirkung der Partikel erläutern;  
**[0039]** Fig. 29 ein zweites Flußdiagramm zum Verhindern der Ablagerung von Partikeln auf dem Katalysator;  
**[0040]** Fig. 30(A) und 30(B) eine vergrößerte Schnittansicht der Trennwand des Katalysators;  
**[0041]** Fig. 31 ein drittes Flußdiagramm zum Verhindern der Ablagerung von Partikeln auf dem Katalysator; und  
**[0042]** Fig. 32 ein viertes Flußdiagramm zum Regenerieren des Katalysators.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0043]** Fig. 1 zeigt eine schematische vertikale Schnittansicht eines Viertakt-Dieselmotors mit einer Abgasreinigungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung. Fig. 2 zeigt eine vergrößerte vertikale Schnittansicht der Brennkammer des Dieselmotors von Fig. 1. Fig. 3 ist eine Bodenansicht eines Zylinderkopfs des Dieselmotors von Fig. 1. Gemäß Fig. 1-3 bezeichnet das Bezugszeichen 1 einen Motorkörper, das Bezugszeichen 2 einen Zylinderblock, das Bezugszeichen 3 einen Zylinderkopf, das Bezugszeichen 4 einen Kolben, das Bezugszeichen 5a einen an der oberen Oberfläche des Kolbens 4 ausgebildeten Hohlraum, Bezugszeichen 5 einem in dem Hohlraum 5a ausgebildete Brennkammer, Bezugszeichen 6 eine elektrisch gesteuerte Kraftstoffeinspritzvorrichtung, Bezugszeichen 7 ein Paar von Einlaßventilen, Bezugszeichen 8 einen Einlaßanschluß, Bezugszeichen 9 ein Paar von Abgas- bzw. Auslaßventilen und Bezugszeichen 10 einen Abgas- bzw. Auslaßanschluß. Der Einlaßanschluß 8 ist über ein korrespondierendes Einlaß- bzw. Ansaugrohr 11 mit einem Ausgleichsbehälter 12 verbunden. Der Ausgleichsbehälter 12 ist über einen Einlaßkanal 13 mit einem Luftreiniger 14 verbunden. Eine Drosselklappe bzw. -ventil 16, das durch einen elektrischen Motor angetrieben wird, ist in dem Einlaßkanal 13 angeordnet. Andererseits ist der Abgasanschluß 10 über einen Abgaskrümmern 17 mit einer Abgasleitung 18 verbunden.  
**[0044]** Wie in Fig. 1 gezeigt, ist der Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor 21 in dem Abgaskrümmern 17 angeordnet. Der Abgaskrümmern 17 und der Ausgleichsbehälter 12 sind miteinander über eine EGR-Leitung (das heißt, über eine Abgasrückführungsleitung) 22 verbunden. Ein elektrisch gesteuertes EGR-Steuerventil 23 ist in der EGR-Leitung 22 angeordnet. Ein EGR-Kühler 24 ist um die EGR-Leitung 22 zum Kühlen des in der EGR-Leitung 22 strömenden EGR-Gases herum angeordnet. Bei der Ausführungsform in Fig.

1 wird das Motorkühlwasser in den EGR-Kühler 24 geleitet und dadurch das EGR-Gas durch das Motorkühlwasser gekühlt.  
**[0045]** Andererseits ist hier die Kraftstoffeinspritzvorrichtung 6 mit einem Kraftstoffreservoir verbunden, das heißt, eine gemeinsamen Schiene (Common Rail) 26 über eine Kraftstoffzufuhrrohre 25. Der Kraftstoff wird der Common Rail 26 von einer elektrisch gesteuerten variablen Kraftstoffförderpumpe 27 zugeführt. Der der Common Rail 26 zugeführte Kraftstoff wird der Kraftstoffeinspritzvorrichtung 6 über jede Kraftstoffzufuhrrohre 25 zugeführt. Ein Kraftstoffdrucksensor 28 zum Erfassen eines Kraftstoffdrucks in der Common Rail 26 ist an der Common Rail 26 befestigt. Die Fördermenge der Kraftstoffpumpe wird auf der Basis eines Ausgangssignals des Kraftstoffdrucksensors 28 derart kontrolliert, daß der Kraftstoffdruck in der Common Rail 26 dem Ziel- bzw. Sollkraftstoffdruck entspricht.  
**[0046]** Bezugszeichen 30 bezeichnet eine elektrische Steuereinheit. Sie besteht aus einem digitalen Computer und besitzt ein ROM (read only memory) 32, ein RAM (random access memory) 33, eine CPU (microprocessor) 34, einen Eingangsport 35 und einen Ausgangs- port 36, die miteinander über einen bidirektionalen Bus 31 verbunden sind.  
**[0047]** Die Ausgangssignale des Luft/Kraftstoffsensors 21 und des Kraftstoffdrucksensors 28 werden jeweils über A/D-Wandler 37 an den Eingangsport 35 gegeben. Ein Motorbelastungssensor 41 ist mit dem Gaspedal 40 verbunden, welcher eine Ausgangsspannung proportional zu dem Betrag eines Herunterdrückens (L) des Beschleunigungs- bzw. Gaspedals 40 erzeugt. Das Ausgangssignal des Motorbelastungssensors 41 wird ebenso über einen A/D-Wandler 37 zu dem Eingangsport 35 gegeben. Weiterhin wird das Ausgangssignal des Kurbelwinkelsensors 42 zum Erzeugen eines Ausgangsimpulses jedesmal, wenn die Kurbelwelle um beispielsweise 30 Grad gedreht worden ist, zu dem Eingangsport 35 eingegeben. Die Kraftstoffeinspritzvorrichtung 6, der Elektromotor 15, das EGR-Steuerventil 23, die Kraftstoffpumpe 27 und ein Ventilkörper 71a eines Umschaltabschnitts 71, der in der Abgasleitung 18 angeordnet ist, sind mit dem Ausgangs- port 36 über jeweils eine Treiberschaltung 38 verbunden, um auf der Basis der Eingangssignale betätigt zu werden.  
**[0048]** Wie in Fig. 2 und 3 gezeigt, weist bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Kraftstoffeinspritzvorrichtung 6 eine Düse mit sechs Düsenöffnungen auf. Von den Düsenöffnungen werden Kraftstoffstrahlen (F) in einer leicht nach unten gegen die Horizontale geneigte Richtung mit gleichen Winkelabständen eingespritzt. Wie es in Fig. 3 gezeigt ist, werden zwei Kraftstoffstrahlen (F) der sechs Kraftstoffstrahlen (F) entlang der unteren Oberfläche jedes Abgasventils 9 zerstreut. Fig. 2 und 3 zeigen den Fall, bei dem ein Kraftstoff am Ende eines Kompressionstakts eingespritzt wird. In diesem Fall dringen die Kraftstoffstrahlen (F) in Richtung der inneren Umfangsoberfläche des Hohlraums 5 und werden danach gezündet und verbrannt.  
**[0049]** Fig. 4 zeigt den Fall, bei dem zusätzlich Kraftstoff von einer Kraftstoffeinspritzvorrichtung 6 eingespritzt wird, wenn der Hubbetrag der Abgasventile bei dem Abgastakt das Maximum aufweisen. Das heißt, Fig. 5 zeigt den Fall, bei dem die Hauptkraftstoffeinspritzung ( $Q_m$ ) nahe dem oberen Totpunkt der Kompression durchgeführt wird und danach die zusätzliche Kraftstoffeinspritzung ( $Q_a$ ), die in der mittleren Phase des Abgastakts durchgeführt wird. In diesem Fall sind die Kraftstoffstrahlen (F), die in Richtung der Abgasventile 9 vordringen, zwischen der regenschirmartigen rückseitigen Oberfläche des Abgasventils 9 und des Abgasanschlusses 10 gerichtet. Mit anderen Worten zwei der sechs Düsenöffnungen der Kraftstoffeinspritzvorrich-

tung 6 sind derart ausgebildet, daß wenn die Abgasventile geöffnet sind und die zusätzliche Kraftstoffeinspritzung (Qa) ausgeführt wird, die Kraftstoffstrahlen (F) zwischen die rückseitige Oberfläche des Abgasventils 9 und dem Abgasanschluß 10 gerichtet sind. Bei der Ausführungsform in Fig. 4 treffen diese Kraftstoffstrahlen (F) die rückseitige Oberfläche des Abgasventils 9 und werden von der rückseitigen Oberfläche des Abgasventils 9 reflektiert und daher in den Abgasanschluß 10 gerichtet.

[0050] Normalerweise wird die zusätzliche Kraftstoffeinspritzung (Qa) nicht ausgeführt und lediglich die Hauptkraftstoffeinspritzung (Qm) durchgeführt. Fig. 6 zeigt ein Beispiel eines Experiments, das die Veränderung des Ausgangsdrehmoments und der Menge an ausgestoßenem Rauch, HC, CO und  $\text{NO}_x$  zum Zeitpunkt darstellt, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F (Abszisse in Fig. 6) sich durch ein Verändern des Öffnungsgrads der Drosselklappe 16 verändert, und der EGR-Rate zum Zeitpunkt eines niedrigen Motorlastbetriebs. Wie aus Fig. 6 ersichtlich, wird bei diesem Experiment das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F kleiner, je größer die EGR-Rate wird. Wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis unterhalb des stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Verhältnisses (bei etwa 14.6) ist, wird die EGR-Rate größer als 65 Prozent.

[0051] Wie in Fig. 6 gezeigt, beginnt die Menge an erzeugtem Rauch zu steigen, falls die EGR-Rate zum Verrin-  
gern des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses A/F erhöht wird, wenn die EGR-Rate ungefähr 40 Prozent erreicht und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F ungefähr 30 wird. Wenn die EGR-Rate weiter vergrößert wird und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F kleiner wird, wird die Menge an erzeugtem Rauch schnell größer und erreicht einen Spitzenwert. Wenn als nächstes die EGR-Rate weiter erhöht wird und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis kleiner wird, sinkt die Menge an erzeugtem Rauch schnell ab. Wenn die EGR-Rate größer als 65% wird und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F annähernd 15.0 wird, ist die Menge an erzeugtem Rauch im wesentlichen Null. Das heißt, es wird fast kein Ruß erzeugt. Zu diesem Zeitpunkt fällt das Ausgangsdrehmoment des Motors ein bißchen ab und die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  wird erheblich weniger. Andererseits beginnt zu diesem Zeitpunkt die Menge an erzeugtem HC und CO sich zu erhöhen.

[0052] Fig. 7(A) zeigt Veränderungen des Verbrennungsdrucks in der Brennkammer 5, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F nahe bei 21 liegt und die Menge des erzeugten Rauchs am größten ist. Fig. 7 (B) zeigt Veränderungen des Verbrennungsdrucks in der Brennkammer 5, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F nahe bei 18 liegt und die Menge des erzeugten Rauchs ungefähr gleich Null ist. Ein Vergleich zwischen Fig. 7(A) und 7(B) zeigt, daß der Verbrennungsdruck in dem Fall, bei dem die erzeugte Rauchmenge ungefähr gleich Null ist, wie in Fig. 7(B) gezeigt, niedriger ist als der Verbrennungsdruck in dem Fall, bei dem die erzeugte Rauchmenge groß ist, wie in Fig. 7(A) gezeigt.

[0053] Folgendes kann aus den in den Fig. 6 und 7 gezeigten Experimentergebnissen geschlossen werden:

1. Wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F weniger als 15.0 beträgt und die erzeugte Rauchmenge im wesentlichen Null ist, sinkt die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  erheblich, wie in Fig. 6 gezeigt. Die Tatsache, daß die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  sinkt bedeutet, daß die Verbrennungstemperatur in der Brennkammer 5 fällt. Es kann daher angenommen werden, daß wenn fast kein Ruß erzeugt wird, die Verbrennungstemperatur in der Brennkammer 5 niedriger wird. Die gleiche Tatsache ist aus Fig. 7 ersichtlich. D. h. bei dem in Fig. 7(B) gezeigten Zustand, bei dem nahezu kein Ruß erzeugt

wird, wird der Verbrennungsdruck niedriger, und daher wird zu diesem Zeitpunkt die Verbrennungstemperatur in der Brennkammer 5 niedriger.

2. Wenn die Menge an erzeugtem Rauch, das heißt, die erzeugte Rußmenge, im wesentlichen Null wird, wie in Fig. 6 gezeigt, steigen die Mengen an ausgestoßenem HC und CO an. Dies bedeutet, daß Kohlenwasserstoffe ohne eine Umwandlung in Ruß ausgestoßen werden. Das heißt, die geraden Ketten an Kohlenwasserstoffen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, die im Kraftstoff vorhanden und in Fig. 8 gezeigt sind, zerfallen, wenn bei einem Sauerstoffmangelzustand die Temperatur erhöht wird, was zur Bildung eines Vorläufers von Ruß führt. Als nächstes wird Ruß erzeugt, der hauptsächlich aus festen Kohlenstoffatomen besteht. In diesem Fall ist der tatsächliche Herstellungsprozeß von Ruß kompliziert. Es ist nicht klar, wie der Vorläufer von Ruß ausgebildet wird, in jedem Fall jedoch verändern sich die in Fig. 8 gezeigten Kohlenwasserstoffe durch bzw. über den Rußvorläufer zu Ruß. Wie vorhergehend erläutert, steigt daher die Ausstoßmenge an HC und CO an, wie in Fig. 6 gezeigt, wenn die Erzeugungsmenge von Ruß im wesentlichen Null ist, jedoch ist das HC zu diesem Zeitpunkt ein Rußvorläufer oder in einem vorherigen Kohlenwasserstoffzustand.

[0054] Diese Überlegungen auf der Grundlage der in Fig. 6 und 7 gezeigten Experimentergebnisse zusammenfassend, kann gesagt werden, daß die Menge an erzeugtem Ruß im wesentlichen Null wird, wenn die Verbrennungstemperatur der Brennkammer 5 niedrig ist. Zu diesem Zeitpunkt wird ein Rußvorläufer oder Kohlenwasserstoffe in einem vorheriger Zustand aus der Brennkammer 5 ausgestoßen. Weitere detaillierte Experimente und Studien wurden durchgeführt. Als Ergebnis wurde ermittelt, daß wenn die Temperatur des Kraftstoffs und des den Kraftstoff umgebenden Gases in der Brennkammer 5 unterhalb einer bestimmten Temperatur liegt, der Wachstumsprozeß des Rußes auf halben Weg gestoppt, das heißt, überhaupt kein Ruß erzeugt wird, und daß, wenn die Temperatur des Kraftstoffs und des den Kraftstoff umgebenden Gases in der Brennkammer 5 höher als eine bestimmte Temperatur wird, Ruß erzeugt wird.

[0055] Wenn der Wachstumsprozeß von Kohlenwasserstoffen im Zustand des Rußvorläufers stoppt, das heißt, oberhalb der bestimmten Temperatur, verändert sich die Temperatur des Kraftstoffs und des den Kraftstoff umgebenden Gases abhängig von zahlreichen Faktoren wie beispielsweise dem Typ des Kraftstoffs, dem Luft/Kraftstoffverhältnis und dem Kompressionsverhältnis, so daß nicht exakt geklärt werden kann, was die Ursache ist, aber diese bestimmte Temperatur spielt eine große Rolle für die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$ . Daher kann diese bestimmte Temperatur bis zu einem bestimmten Grad aus der Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  bestimmt werden. Das heißt, je größer die EGR-Rate ist, desto niedriger ist die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn zu diesem Zeitpunkt der Verbrennung umgebenden Gases, und desto niedriger ist die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$ . Zu diesem Zeitpunkt, wenn die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  ungefähr 10 ppm oder weniger beträgt, wird nahezu kein Ruß mehr produziert. Daher entspricht die obige bestimmte Temperatur im wesentlichen der Temperatur, wenn die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  ungefähr 10 ppm oder weniger beträgt.

[0056] Wenn erst einmal Ruß erzeugt wird, ist es unmöglich, ihn durch eine Nachbehandlung unter Verwendung eines Katalysators mit einer Oxidationsfunktion zu reinigen. Angesichts dieses Umstands kann ein Rußvorläufer oder ein Kohlenwasserstoff in einem vorherigem Zustand ohne wei-

teres durch eine Nachbehandlung unter Verwendung eines Katalysators mit einer Oxidationsfunktion gereinigt werden. Somit ist es hochwirksam für die Reinigung des Abgases, daß die Kohlenwasserstoffe aus der Brennkammer 5 in Form eines Rußvorläufers oder eines vorherigen Zustands mit einer verringerten Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  ausgestoßen werden.

[0057] Um nun das Wachstum von Kohlenwasserstoffen in dem Zustand vor der Erzeugung von Ruß zu stoppen, ist es notwendig, die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases in der Brennkammer 5 zu einem Zeitpunkt auf einer Temperatur zu halten, die unterhalb der Temperatur liegt, bei der Ruß erzeugt wird. Für diesen Fall wurde ermittelt, daß die wärmeabsorbierende Wirkung des Gases um den Kraftstoff herum zu diesem Zeitpunkt der Verbrennung einen extrem großen Einfluß in der Unterdrückung der Temperaturen des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases aufweist.

[0058] Das heißt, wenn lediglich Luft um den Kraftstoff vorhanden ist, wird der dampfförmige Kraftstoff sofort mit dem Sauerstoff in der Luft reagieren und verbrennen. In diesem Fall wird die Temperatur der Luft, die von dem Kraftstoff weiter weg ist, sich nicht sonderlich erhöhen. Lediglich die Temperatur um den Kraftstoff herum wird lokal extrem hoch. Das heißt, zu diesem Zeitpunkt absorbiert die von dem Kraftstoff weiter entfernte Luft überhaupt nicht viel von der Wärme der Verbrennung des Kraftstoffs. Da in diesem Fall die Verbrennungstemperatur lokal sehr hoch wird, erzeugen die unverbrannten die Wärme der Verbrennung aufnehmen den Kohlenwasserstoffe Ruß.

[0059] Wenn andererseits Kraftstoff in einem Gasgemisch aus einer größeren Menge an Inertgas und einer kleineren Menge an Luft vorhanden ist, stellt sich die Situation etwas anders dar. In diesem Fall verteilt sich der verdampfte Kraftstoff in der Umgebung und reagiert zum Verbrennen mit dem Sauerstoff, der mit dem Inertgas vermischt ist. In diesem Fall wird die Wärme der Verbrennung durch das umgebende Inertgas absorbiert, so daß die Verbrennungstemperatur nicht länger so stark ansteigt. Das heißt, die Verbrennungstemperatur kann niedrig gehalten werden. Das heißt, das Vorhandensein von Inertgas spielt eine wichtige Rolle bei dem Niedrighalten der Verbrennungstemperatur. Durch die wärmeabsorbierende Wirkung des Inertgases ist es möglich, die Verbrennungstemperatur niedrig zu halten.

[0060] Um in diesem Fall die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases auf einer Temperatur zu halten, die niedriger ist als die Temperatur, bei welcher Ruß erzeugt wird, wird eine Menge an Inertgas benötigt, die ausreichend ist, um eine zum Erniedrigen der Temperatur ausreichende Wärmemenge zu absorbieren. Daher steigt die Menge an benötigtem Inertgas, wenn die Menge an Kraftstoff sich erhöht. Festzuhalten ist in diesem Fall, daß je größer die spezifische Wärme des Inertgases ist, desto stärker wird die wärmeabsorbierende Wirkung. Daher wird als Inertgas ein Gas mit einer großen spezifischen Wärme bevorzugt. Da  $\text{CO}_2$  und das EGR-Gas relativ große spezifische Wärmekapazitäten aufweisen, kann in diesem Zusammenhang gesagt werden, daß die Verwendung von EGR-Gas als das Inertgas bevorzugt wird.

[0061] Fig. 9 zeigt die Beziehung zwischen der EGR-Rate und dem Rauch, wenn EGR-Gas als Inertgas verwendet wird, und eine Veränderung des Betrags der Abkühlung des EGR-Gases. Das heißt, die Kurve (A) in Fig. 9 zeigt den Fall einer starken Abkühlung des EGR-Gases und eines Aufrechterhaltens der Temperatur des EGR-Gases bei ungefähr  $90^\circ\text{C}$ , die Kurve (B) zeigt den Fall einer Abkühlung des EGR-Gases bei einer kompakten Abkühlungsvorrichtung, und die Kurve (C) zeigt den Fall eines nicht zwangsweisen

Abkühlens des EGR-Gases.

[0062] Bei einer starken Abkühlung des EGR-Gases, wie es durch die Kurve (A) in Fig. 9 gezeigt ist, erreicht die Menge von erzeugtem Ruß einen Spitzenwert, wenn die EGR-Rate sich kurz unterhalb von 50% befindet. In diesem Fall, wenn die EGR-Rate auf ungefähr 55% oder weniger eingestellt ist, wird nahezu kein Ruß mehr produziert.

[0063] Wenn andererseits die EGR-Rate leicht abgekühlt wird, wird es durch die Kurve (B) in Fig. 9 gezeigt ist, erreicht die Menge an erzeugtem Ruß einen Spitzenwert, wenn die EGR-Rate leicht höher als 50% liegt. In diesem Fall, wenn die EGR-Rate auf ungefähr 65% eingestellt ist, wird nahezu kein Ruß erzeugt.

[0064] Wenn weiterhin das EGR-Gas nicht gezwungenermaßen abgekühlt wird, wie es durch die Kurve (C) in Fig. 9 gezeigt ist, erreicht die Menge an erzeugtem Ruß nahe der EGR-Rate von 55% einen Spitzenwert. In diesem Fall, wenn die EGR-Rate auf über circa 70% eingestellt wird, wird nahezu kein Ruß erzeugt.

[0065] Festzuhalten ist, daß Fig. 9 die Menge an erzeugtem Rauch zeigt, wenn die Motorbelastung relativ hoch ist. Wenn die Motorbelastung niedriger wird, fällt die EGR-Rate, bei welcher die Menge an erzeugtem Ruß einen Spitzenwert erreicht, und die untere Grenze der EGR-Rate, bei welcher nahezu kein Ruß erzeugt wird, fällt ebenso etwas. Auf diese Weise verändert sich die untere Grenze der EGR-Rate, bei welcher nahezu kein Ruß erzeugt wird, in Übereinstimmung mit dem Abkühlungsgrad des EGR-Gases oder der Motorbelastung.

[0066] Fig. 10 zeigt den Betrag eines Gasgemisches aus EGR-Gas und aus Luft, das Verhältnis von Luft in dem Gasgemisch und das Verhältnis von EGR-Gas in dem Gasgemisch, das erforderlich ist, um die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases zum Zeitpunkt der Verbrennung auf eine Temperatur unterhalb der Temperatur einzustellen bei welcher im Fall der Verwendung von EGR-Gas als ein Inertgas Ruß erzeugt wird. Zu beachten ist, daß in Fig. 10 die Ordinate die Gesamtmenge an Ansauggas zeigt, das in die Brennkammer 5 eingelassen wird. Die Punktstrichlinie (Y) zeigt die Gesamtmenge des Ansauggases, das in der Lage ist, in die Brennkammer 5 eingesogen zu werden, wenn keine Aufladung (Kompression) durchgeführt wird. Weiterhin zeigt die Abszisse die erforderliche Last. (Z1) zeigt den Betriebsbereich einer niedrigen Motorlast.

[0067] Gemäß Fig. 10 zeigt das Verhältnis von Luft, das heißt, die Luftmenge in dem Gasgemisch, die Menge an Luft an, die zum vollständigen Verbrennen des eingespritzten Kraftstoffs notwendig ist. Das heißt, für den in Fig. 10 gezeigten Fall, daß das Verhältnis der Menge an Luft und der Menge an eingespritztem Kraftstoff das stöchiometrische Kraftstoffverhältnis wird. Andererseits zeigt in Fig. 10 das Verhältnis des EGR-Gases, das heißt, die Menge des EGR-Gases in dem Gasgemisch, die minimale Menge an EGR-Gases an, die erforderlich ist, um die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases auf einer Temperatur zu halten, die niedriger als die Temperatur ist, bei welcher Ruß erzeugt wird, wenn der eingespritzte Kraftstoff vollständig verbrannt wird. Diese Menge an EGR-Gas wird in Form der EGR-Rate ausgedrückt und ist größer oder gleich 55%, wobei sie bei der in Fig. 10 gezeigten Ausführungsform größer oder gleich 70% ist. Das heißt, wenn die Gesamtmenge des Ansauggases in der Brennkammer 5 auf einen Wert eingestellt wird, der der festen Linie (X) in Fig. 10 entspricht, und das Verhältnis der Menge an Luft und der Menge an EGR-Gas bei der Gesamtmenge des Ansauggases (X) auf das in Fig. 10 gezeigte Verhältnis eingestellt wird, wird die Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases eine Temperatur sein, die niedriger als die Tem-

peratur ist, bei welcher Ruß erzeugt wird, und daher wird überhaupt kein Ruß mehr erzeugt. Weiterhin beträgt die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  zu diesem Zeitpunkt ungefähr 10 ppm oder weniger und daher wird die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  sehr klein.

[0068] Wenn die Menge an eingespritztem Kraftstoff sich erhöht, erhöht sich die Menge an erzeugter Wärme zu dem Zeitpunkt der Verbrennung, so daß zum Halten der Temperatur des Kraftstoffs und des ihn umgebenden Gases auf einer Temperatur, die niedriger als die Temperatur ist, bei welcher Ruß erzeugt wird, die Menge an Wärme, die durch das EGR-Gas absorbiert wird, erhöht werden. Wie in Fig. 10 gezeigt, muß daher die Menge an EGR-Gas zusammen mit einer Erhöhung bei der Menge des eingespritzten Kraftstoffs erhöht werden. Das heißt, daß die Menge an EGR-Gas erhöht werden muß, wenn die benötigte Motorleistung höher wird.

[0069] Andererseits übersteigt bei dem Motorlastbereich (22) der Fig. 10 die Gesamtmenge des Ansauggases (X), die zum Unterdrücken der Rußerzeugung erforderlich ist, die Gesamtmenge des Ansauggases (Y), die angesaugt werden kann. Um daher in diesem Fall die Gesamtmenge an Ansauggas (X), die zum Unterdrücken der Rußproduktion erforderlich ist, in die Brennkammer 5 zuzuführen, ist es notwendig sowohl das EGR-Gas als auch die Ansaugluft oder nur das EGR-Gas aufzuladen bzw. unter Druck zu setzen. Wenn das EGR-Gas usw. dem Motorlastbereich (22) nicht aufgeladen oder unter Druck gesetzt wird, entspricht die Gesamtmenge des Ansauggases (X) der Gesamtmenge des Ansauggases (Y), das angesaugt werden kann. Um daher in diesem Fall die Rußerzeugung zu verhindern, ist die Luftmenge zum Erhöhen des Betrages des EGR-Gases etwas verringert und der Kraftstoff wird in einem Zustand verbrannt, bei dem das Luft/Kraftstoff-Verhältnis reich bzw. fett ist.

[0070] Wie vorherstehend erläutert, zeigt Fig. 10 den Fall der Verbrennung von Kraftstoff bei dem stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Verhältnis. Bei dem in Fig. 10 gezeigten Betriebsbereich (21) einer niedrigen Motorlast ist es, auch wenn die Luftmenge kleiner als die in Fig. 10 gezeigte Luftmenge ist, das heißt, auch wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis fett ist, möglich, die Erzeugung von Ruß zu verhindern und die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  auf ungefähr 10 ppm oder weniger einzustellen. Bei dem in Fig. 10 gezeigten Betriebsbereich (21) einer niedrigen Motorlast ist es weiterhin auch dann, wenn die Luftmenge größer als die in Fig. 10 gezeigte Luftmenge eingestellt wird, das heißt, der Durchschnitt des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses als mager auf 17 bis 18 gemacht wird, möglich, die Erzeugung von Ruß zu verhindern und die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  auf ungefähr 10 ppm oder weniger einzustellen.

[0071] Das heißt, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis fett gemacht bzw. eingestellt ist, ist mehr Kraftstoff vorhanden, aber da die Verbrennungstemperatur auf einer niedrigen Temperatur gehalten wird, wandelt sich der Überschuß an Kraftstoff nicht in Ruß um, und daher wird kein Ruß erzeugt. Weiterhin wird zu diesem Zeitpunkt lediglich eine extrem kleine Menge an  $\text{NO}_x$  erzeugt. Wenn andererseits der Durchschnittswert des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses mager ist oder wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist, wird eine kleine Menge an Ruß erzeugt, wenn die Verbrennungstemperatur größer wird, aber die Verbrennungstemperatur wird auf eine niedrige Temperatur heruntergedrückt und somit wird überhaupt kein Ruß erzeugt. Weiterhin wird lediglich eine kleine Menge an  $\text{NO}_x$  erzeugt.

[0072] Auf diese Weise wird bei dem Betriebsbereich (Z1) einer niedrigen Motorlast abgesehen von dem Luft/

Kraftstoff-Verhältnis, das heißt, ob das Luft/Kraftstoff-Verhältnis fett ist oder das stöchiometrische Luft/Kraftstoff-Verhältnis eingestellt ist oder der Durchschnitt des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses mager ist, kein Ruß erzeugt und die Menge an erzeugtem  $\text{NO}_x$  wird extrem klein. In Anbetracht der Verbesserung der Kraftstoffverbrauchsrate kann daher gesagt werden, daß es vorteilhaft ist, den Durchschnitt des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses mager einzustellen.

[0073] Nebenbei gesagt, nur wenn die Motorlast relativ niedrig und die Menge an erzeugter Wärme klein ist, kann die Temperatur des Kraftstoffes und des den Kraftstoff umgebenden Gases bei der Verbrennung unterhalb einer Temperatur gehalten werden, bei welcher der Wachstumsprozeß von Ruß auf halbem Wege stoppt. Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird daher, wenn die Motorlast relativ niedrig ist, die Temperatur des Kraftstoffs und des den Kraftstoff umgebenden Gases bei der Verbrennung unterhalb einer Temperatur gehalten, bei welcher der Wachstumsprozeß von Ruß auf halbem Wege stoppt und daher eine erste Verbrennung, das heißt, eine Niedrigtemperaturverbrennung, durchgeführt werden. Wenn die Motorlast relativ hoch ist, wird normalerweise eine zweite Verbrennung, das heißt, eine Normalverbrennung, ausgeführt. Hierbei sollte es aus der obigen Erklärung ersichtlich sein, daß die erste Verbrennung, das heißt, die Niedrig-Temperatur-Verbrennung, eine Verbrennung ist, bei welchem die Menge an Inertgas in der Brennkammer größer ist, als die im Sinne der Rußerzeugung schlimmste Menge bzw. Grenzmenge an Inertgas, die die maximale Menge an erzeugtem Ruß verursacht, und somit überhaupt kein Ruß erzeugt wird. Die zweite Verbrennung, das heißt, die Normalverbrennung, ist eine Verbrennung, bei welcher die Menge an Inertgas in der Brennkammer kleiner als die Grenzmenge an Inertgas ist. [0074] Fig. 11 zeigt einen ersten Betriebsbereich (I), bei welchem die erste Verbrennung, das heißt, die Niedrigtemperaturverbrennung, ausgeführt wird und ein zweiter Betriebsbereich (II), bei welchem die zweite Verbrennung, das heißt, die Normalverbrennung, ausgeführt wird. In Fig. 11 zeigt die Ordinate (L) die Menge des Niederdrückens des Gaspedals 40, das heißt, die benötigte Motorleistung. Die Abszisse (N) zeigt die Motordrehzahl. Weiterhin zeigt bei Fig. 11 X(N) eine erste Grenze zwischen dem ersten Betriebsbereich (I) und dem zweiten Betriebsbereich (II). Y(N) zeigt eine zweite Grenze zwischen dem ersten Betriebsbereich (I) und dem zweiten Betriebsbereich (II). Die Entscheidung zum Wechseln von dem ersten Betriebsbereich (I) zu dem zweiten Betriebsbereich (II) wird auf der Grundlage der ersten Grenzlinie X(N) getroffen. Die Entscheidung zum Wechseln von dem zweiten Betriebsbereich (II) zu dem ersten Betriebsbereich (I) wird auf der Grundlage der zweiten Grenzlinie Y(N) getroffen.

[0075] Das heißt, wenn der Motorbetriebszustand sich in dem ersten Betriebsbereich (I) befindet und die Niedrigtemperaturverbrennung durchgeführt wird, wird es, falls die erforderliche Motorlast (L) die erste Grenzlinie X(N) übersteigt, die eine Funktion der Motordrehzahl (N) ist, bestimmt, daß sich der Motorbetriebsbereich in den zweiten Betriebsbereich (II) verschiebt und dadurch die Normalverbrennung ausgeführt wird. Falls danach die benötigte Motorleistung (L) unter die zweite Grenzlinie Y(N) absinkt, die eine Funktion der Motordrehzahl (N) ist, wird es bestimmt, daß der Motorbetriebsbereich sich zu dem ersten Betriebsbereich (I) hin verschiebt und dadurch wird wieder die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt.

[0076] Fig. 12 zeigt den Ausgang des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors 21. Wie in Fig. 12 gezeigt, verändert sich der Ausgangsstrom (I) des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors 21 in Übereinstimmung mit dem Luft/Kraftstoff-Verhältnis



A/F. Dementsprechend kann das Luft/Kraftstoff-Verhältnis von dem Ausgangsstrom (I) des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors 21 abgelesen werden. Gemäß Fig. 13 wird als nächstes die Motorbetriebssteuerung in dem ersten Betriebsbereich (I) und dem zweiten Betriebsbereich (II) schematisch erläutert.

[0077] Fig. 13 zeigt den Öffnungsgrad des Drosselventils 16, den Öffnungsgrad des EGR-Steuerventils 23, die EGR-Rate, das Luft/Kraftstoff-Verhältnis, die Zeitsteuerung der Kraftstoffeinspritzung und die Menge an eingespritztem Kraftstoff in bezug auf die benötigte bzw. erforderliche Motorlast (L). Wie in Fig. 13 gezeigt, wird bei dem ersten Betriebsbereich (I), wenn die erforderliche Motorleistung (L) niedrig ist, das Drosselventil 16 allmählich aus einem nahezu geschlossenen Zustand in die Nähe des halboffenen Zustands zusammen mit dem Erhöhen der erforderlichen Motorlast (L) geöffnet, und das EGR-Steuerventil 23 wird allmählich von dem nahezu geschlossenen Zustand zu dem vollständig offenen Zustand zusammen mit der Erhöhung der erforderlichen Motorlast (L) geöffnet. Bei der in Fig. 13

gezeigten Ausführungsform wird die EGR-Rate bei dem ersten Betriebsbereich (I) auf ungefähr 70% eingestellt und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis dabei leicht mager eingestellt. [0078] Mit anderen Worten bei dem ersten Betriebsbereich (I) werden die Öffnungsgrade des Drosselventils 16 und des EGR-Steuerventils 23 derart gesteuert, daß die EGR-Rate ungefähr 70% beträgt und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis ein leicht mageres Luft/Kraftstoff-Verhältnis wird. Das Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu diesem Zeitpunkt wird auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis gesteuert, um den Öffnungsgrad des EGR-Steuerventils 23 auf der Basis des Ausgangssignals des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors 21 zu korrigieren. Bei dem ersten Betriebsbereich (I) wird der Kraftstoff vor Erreichen des oberen Totpunkts der Kompression TDC (top dead center) eingespritzt. In diesem Fall ist die Startzeit ( $\theta_S$ ) der Kraftstoffeinspritzung zusammen mit der Erhöhung der erforderlichen Motorlast (L) verzögert und die Endzeit ( $\theta_E$ ) der Kraftstoffeinspritzung ist zusammen mit der Verzögerung der Startzeit ( $\theta_S$ ) der Kraftstoffeinspritzung verzögert.

[0079] In der Leerlaufbetriebsart wird das Drosselventil 16 fast vollständig geschlossen. Zu diesem Zeitpunkt wird ebenso das EGR-Steuerventil 23 fast vollständig geschlossen. Wenn das Drosselventil 16 fast vollständig geschlossen ist, wird der Druck in der Brennkammer 5 bei dem Anfangszustand des Kompressionstakts niedrig eingestellt, und damit der Kompressionsdruck niedrig. Wenn der Kompressionsdruck niedrig wird, wird die Kompressionsarbeit des Kolbens 40 klein und damit die Vibration des Motorkörpers 1 gering. Das heißt, daß bei dem Leerlaufbetriebsmodus das Drosselventil 16 nahezu im geschlossenen Zustand ist, um die Vibration des Motorkörpers 1 zu beschränken.

[0080] Wenn andererseits der Motorbetriebsbereich sich von dem ersten Betriebsbereich (I) zu dem zweiten Betriebsbereich (II) verändert, vergrößert sich der Öffnungsgrad des Drosselventils 16 um eine Stufe bzw. sprunghaft von dem halboffenen Zustand in Richtung des voll offenen Zustands. Zu diesem Zeitpunkt verringert sich bei der in Fig. 13 gezeigten Ausführungsform die EGR-Rate sprunghaft von ungefähr 70% auf unterhalb 40% und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis erhöht sich sprunghaft. Das heißt, die EGR-Rate springt über den Wert der EGR-Rate (Fig. 9), bei welcher die große Menge an Rauch erzeugt wird, und somit wird die keine große Menge an Rauch erzeugt, wenn der Motorbetriebsbereich von dem ersten Betriebsbereich (I) zu dem zweiten Betriebsbereich (II) wechselt. In dem zweiten Betriebsbereich (II) wird wie gewöhnlich eine Normalverbrennung ausgeführt. Diese Verbrennung bewirkt eine Er-

zeugung von Ruß und  $\text{NO}_x$ . Jedoch ist ihre thermische Wirksamkeit höher als die der Niedrigtemperaturverbrennung. Wenn daher der Motorbetriebsbereich von dem ersten Betriebsbereich (I) zu dem zweiten Betriebsbereich (II) wechselt, wird die Menge an eingespritztem Kraftstoff sich um eine Stufe, das heißt, sprunghaft verringern, wie in Fig. 13 gezeigt.

[0081] In dem zweiten Betriebsbereich (II) wird abgesehen von einem kleinen Teilbereich davon das Drosselventil in dem vollständig geöffneten Zustand gehalten. Der Öffnungsgrad des EGR-Steuerventils 23 verringert sich allmählich zusammen mit der Erhöhung der benötigten Motorlast. Bei diesem Betriebsbereich (II) verringert sich die EGR-Rate zusammen mit der Erhöhung der benötigten Motorlast (L) und das Luft/Kraftstoff-Verhältnis verringert sich zusammen mit der Erhöhung der erforderlichen Motorlast (L). Jedoch wird das Luft/Kraftstoff-Verhältnis als ein mageres Luft/Kraftstoff-Verhältnis auch dann eingestellt, wenn die benötigte Motorlast (L) groß wird. In dem zweiten Betriebsbereich (II) wird weiterhin die Startzeit ( $\theta_S$ ) der Kraftstoffeinspritzung nahe dem oberen Totpunkt der Kompression TDC eingestellt.

[0082] Fig. 14 zeigt die Luft/Kraftstoff-Verhältnisse A/F in dem ersten Betriebsbereich (I). In Fig. 14 zeigen die Kurven bei  $A/F = 15.5$ ,  $A/F = 16$ ,  $A/F = 17$  und  $A/F = 18$  jeweils die Fälle, bei denen die Luft/Kraftstoff-Verhältnisse 15.5, 16, 17 und 18 sind. Das Luft/Kraftstoff-Verhältnis zwischen zwei Kurven wird durch den proportionalen Anteil bestimmt. Wie in Fig. 14 gezeigt, ist bei dem ersten Betriebsbereich (I) das Luft/Kraftstoff-Verhältnis mager und je magerer das Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist, desto niedriger wird die benötigte Motorlast (L).

[0083] Das heißt, die Menge an erzeugter Wärme bei der Verbrennung verringert sich zusammen mit der Verringerung der benötigten Motorlast (L). Daher kann, auch wenn die EGR-Rate sich zusammen mit der Verringerung der benötigten Motorlast (L) verringert, die Niedrigtemperaturverbrennung durchgeführt werden. Wenn die EGR-Rate sich verringert, wird das Luft/Kraftstoff-Verhältnis groß. Wie in Fig. 14 gezeigt, erhöht sich daher das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F zusammen mit der Verringerung der benötigten Motorlast (L). Je größer das Luft/Kraftstoff-Verhältnis wird, desto mehr verbessert sich der Kraftstoffverbrauch. Demgemäß erhöht sich bei der vorliegenden Ausführungsform das Luft/Kraftstoff-Verhältnis A/F zusammen mit der Verringerung der erforderlichen Motorlast (L) derart, daß das Luft/Kraftstoff-Verhältnis so mager wie möglich gemacht wird bzw. eingestellt ist.

[0084] Ein Sollöffnungsgrad (ST) des Drosselventils 16, das erforderlich ist, um das Luft/Kraftstoff-Verhältnis auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis, das in Fig. 14 gezeigt ist, einzustellen, wird in einem ROM 32 der elektronischen Steuereinheit als ein Speicherabbild gespeichert, in welchem es eine Funktion der benötigten Motorlast (L) und der Motordrehzahl (N) darstellt, wie in Fig. 15(A) gezeigt. Ein Sollöffnungsgrad (SE) des EGR-Steuerventils 23, das zum Einstellen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis, das in Fig. 14 gezeigt ist, erforderlich ist, wird in dem ROM 32 der elektronischen Steuereinheit als ein Speicherabbild gespeichert, in welchem es eine Funktion der benötigten Motorlast (L) und Motordrehzahl (N) darstellt, wie in Fig. 15(B) gezeigt.

[0085] Fig. 16 zeigt Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnisse, wenn die zweite Verbrennung, das heißt, die Normalverbrennung, wie gewöhnlich ausgeführt wird. In Fig. 16 zeigen die Kurven jeweils die Fälle, bei denen die Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnisse 24, 35, 45 und 60 sind, was durch  $A/F = 24$ ,  $A/F = 35$ ,  $A/F = 45$  und  $A/F = 60$  angedeutet wird.

Ein Sollöffnungsgrad (ST) des Drosselventils **16**, das zum Einstellen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis erforderlich ist, wird in dem ROM **32** der elektronischen Steuereinheit als ein Speicherabbild gespeichert, in welchem es eine Funktion der benötigten Motorlast (L) und der Motordrehzahl (N) darstellt, wie in Fig. 17(A) gezeigt. Ein Sollöffnungsgrad (SE) des EGR-Steuerventils **23**, das zum Einstellen des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses auf das Soll-Luft/Kraftstoff-Verhältnis erforderlich ist, wird in dem ROM **32** der elektronischen Steuereinheit als ein Speicherabbild gespeichert, in welchem es eine Funktion der benötigten Motorlast (L) und der Motordrehzahl (N) darstellt, wie in Fig. 17(B) gezeigt.

[0086] Somit wird bei dem Dieselmotor der vorliegenden Ausführungsform zwischen der ersten Verbrennung, das heißt, der Niedrigtemperaturverbrennung, und der zweiten Verbrennung, das heißt, der normalen Verbrennung, auf der Basis der Größe des Niederdrucks (L) des Gaspedals **40** und der Motordrehzahl (N) umgeschaltet. Bei jeder Verbrennung werden die Öffnungsgrade des Drosselventils **16** und des EGR-Steuerventils **23** auf der Grundlage der Speicherabbilder, die in Fig. 15 und 17 gezeigt sind, gesteuert.

[0087] Fig. 18 ist eine Draufsicht, die eine Abgasreinigungsvorrichtung einer Ausführungsform zeigt, und Fig. 19 ist eine Seitenansicht davon. Die Vorrichtung weist einen Umschaltabschnitt **71**, der über die Abgasleitung **18** mit dem Ausgangsstrom des Abgaskrümmers **17** verbunden ist, einen Katalysator **70** zum Absorbieren und Reduzieren von  $\text{NO}_x$ , einen ersten Verbindungsabschnitt **72a** zum Verbinden einer Seite des Katalysators **70** mit dem Umschaltabschnitt **71**, einen zweiten Verbindungsabschnitt **72b** zum Verbinden der anderen Seite des Katalysators **70** mit dem Umschaltabschnitt **71** und einen Abgaskanal **73** an dem Ausgangsstrom des Umschaltabschnitts **71** auf. Eine Kraftstoffzuführeinheit **74** ist an dem ersten Verbindungsabschnitt **72a** zum Zuführen von Kraftstoff in die Nähe des Katalysators **70** angeordnet. Der Umschaltabschnitt **71** weist einen Ventilkörper **71a** auf, der den Abgasstrom in dem Umschaltabschnitt **71** absperrt bzw. umschaltet. Der Ventilkörper **71a** wird durch ein Unterdruckstellglied (negative pressure actuator), einen Schrittmotor oder dergleichen angetrieben. Bei einer Absperrrposition des Ventilkörpers **71a** wird die Eingangsstromseite (upstream side) des Umschaltabschnitts **71** mit dem ersten Verbindungsabschnitt **72a** verbunden und seine Ausgangsstromseite (downstream side) wird mit dem zweiten Verbindungsabschnitt **72b** verbunden, und somit strömt das Abgas von einer Seite des Katalysators **70** zu seiner anderen Seite, wie in Fig. 18 durch Pfeile gezeigt.

[0088] Fig. 20 zeigt eine andere Absperrrposition des Ventilkörpers **71a**. Bei dieser Absperrrposition ist die Eingangsstromseite in dem Umschaltabschnitt **71** mit dem zweiten Verbindungsabschnitt **72b** verbunden und die Ausgangsstromseite in dem Umschaltabschnitt **71** mit dem ersten Verbindungsabschnitt **72a** verbunden, und somit strömt das Abgas von der einen Seite des Katalysators **70** zu seiner anderen Seite, wie es in Fig. 20 durch Pfeile gezeigt ist. Somit kann durch ein Umschalten des Ventilkörpers **71a** die Richtung des Abgases, das durch den Katalysator **70** strömt, umgekehrt werden, das heißt, die Abgaseingangsstromseite und die Abgasausgangsstromseite des Katalysators **70** können umgekehrt bzw. vertauscht werden.

[0089] Weiterhin zeigt Fig. 21 eine Mittenposition des Ventilkörpers **71** zwischen den zwei Absperrrpositionen. Bei der Mittenposition ist der Umschaltabschnitt **71** nicht abgesperrt. Das Abgas durchläuft den Katalysator **70** nicht mit einem höheren Widerstand. Das heißt, das Abgas umgeht den Katalysator **70** und strömt direkt in den Abgaskanal **73**, wie es durch Pfeile in Fig. 21 gezeigt ist. Wenn der Ventil-

körper **71a** sich zwischen der Mittenposition und einer der beiden Absperrrpositionen befindet, durchläuft natürlich ein Teil des Abgases den Katalysator **70** und der Rest umgeht den Katalysator **70**. Somit kann durch Steuern des Öffnungsgrads des Ventilkörpers **71a** ein Teil oder das gesamte Abgas den Katalysator **70** umgehen bzw. wird daran vorbei umgeleitet. Normalerweise ist jedoch der Ventilkörper **71a** in einer der beiden Absperrrpositionen.

[0090] Fig. 22 zeigt den Aufbau des Katalysators, wobei Fig. 22(A) eine Vorderansicht des Katalysators **70** und Fig. 22(B) eine seitliche Schnittansicht davon ist. Wie in diesen Figuren gezeigt, weist der Katalysator **70** eine elliptische Form auf und ist beispielsweise vom Wandströmungstyp mit einem Wabenaufbau, der aus einem porösen Material wie etwa Cordierite ausgebildet ist, und weist in der axialen Richtung viele Zwischenräume auf, die durch viele sich in axialer Richtung sich erstreckende Trennwände **54** getrennt sind. Einer von jeweils zwei benachbarten Freiräumen ist durch einen Pfropfen bzw. Verschuß **53** auf der Abgasausgangsstromseite verschlossen und der jeweils andere ist durch einen Verschuß **53** auf der Abgaseingangsstromseite verschlossen. Somit dient einer von zwei benachbarten Freiräumen als ein Abgaseinströmkkanal **50** und der andere als ein Abgasausströmkkanal **51**, was bewirkt, daß das Abgas notwendigerweise die Trennwand **54**, wie durch die Pfeile in Fig. 22(B) angedeutet, durchlaufen muß. Bei dem vorliegenden Katalysator **70** wird ein  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel und ein Edelmetallkatalysator wie Platin (Pt), welcher im folgenden erläutert wird, auf beiden Seitenoberflächen der Trennwände **54** aufgetragen und vorzugsweise ebenso in den Porenoberflächen der Trennwänden **54** unter Verwendung von Aluminium oder dergleichen aufgetragen.

[0091] Bei der vorliegenden Erfindung ist das  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel, das auf der Trennwand **54** aufgetragen wird, zumindest eines, das aus den Alkalimetallen wie beispielsweise Kalium K, Natrium Na, Lithium Li und Cäsium Cs, den Alkali-Erdmetallen wie beispielsweise Barium Ba und Calcium Ca und aus Seltene-Erden-Elementen wie beispielsweise Lanthan La und Yttrium Y ausgewählt worden ist. Das  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel absorbiert  $\text{NO}_x$ , wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis (das ein Verhältnis der zugeführten Luft zum zugeführten Kraftstoff ungeachtet einer Menge an durch Verwendung von Sauerstoff in der zugeführten Luft verbrannten Menge an Kraftstoff ist) in der umgebenden Atmosphäre mager ist und setzt das absorbierte  $\text{NO}_x$  frei, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis stöchiometrisch oder fett wird, und somit führt das ein  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel die Absorbierungs- und Freisetzungstätigkeiten von  $\text{NO}_x$  aus.

[0092] Das ein  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel kann tatsächlich die Absorptions- und Freisetzungstätigkeiten für  $\text{NO}_x$  ausführen, aber ein Teil des Mechanismus des Absorbierens und Freisetzens von  $\text{NO}_x$  ist nicht geklärt. Jedoch wird angenommen, daß die Absorption und Freisetzung von  $\text{NO}_x$  durch den in Fig. 23(A) und 23(B) gezeigten Mechanismus stattfindet. Als nächstes wird der Mechanismus mit Bezug auf den Fall, bei dem Platin Pt und Barium Ba auf der Trennwand des Katalysators aufgetragen sind, erläutert. Der Mechanismus ist der gleiche wie bei Verwendung eines anderen Edelmetalls und eines anderen Alkalimetalls, eines Alkali-Erdmetalls oder eines Seltene-Erden-Elementes.

[0093] Ob bei der Niedrigtemperaturverbrennung oder der Normalverbrennung, die Sauerstoffkonzentration in dem Abgas ist hoch, wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis mager ist. Zu diesem Zeitpunkt haftet Sauerstoff  $\text{O}_2$  in dem Abgas an der Oberfläche von Platin Pt in der Form von  $\text{O}_2^-$  oder  $\text{O}^{2-}$ , wie in Fig. 23(A) gezeigt. Andererseits reagiert NO im Abgas mit  $\text{O}_2^-$  oder  $\text{O}^{2-}$  auf der Oberfläche von Platin Pt zu



$\text{NO}_2$  ( $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$ ). Als nächstes wird ein Teil des erzeugten  $\text{NO}_2$  während es auf dem Platin Pt oxidiert wird in dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel absorbiert, und diffundiert in das  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel in Form von Salpetersäureionen  $\text{NO}_3^-$ , während es mit Bariumoxid  $\text{BaO}$  kombiniert, wie es in Fig. 23(A) gezeigt wird. Somit wird bei der vorliegenden Ausführungsform das in dem Abgas enthaltene  $\text{NO}_x$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel absorbiert. Solange die Sauerstoffkonzentration in der umgebenden Atmosphäre hoch ist, wird  $\text{NO}_2$  auf der Oberfläche von Platin Pt erzeugt und solange die Fähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittels zum Absorbieren von  $\text{NO}_x$  nicht gesättigt ist, wird  $\text{NO}_2$  in dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel zum Erzeugen von Salpetersäureionen  $\text{NO}_3^-$  absorbiert.

[0094] Wenn andererseits das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre fett ist, sinkt die Sauerstoffkonzentration. Folglich sinkt die Menge an  $\text{NO}_2$ , das an der Oberfläche vom Platin Pt erzeugt wird. Wenn die Menge an  $\text{NO}_2$  sinkt, kehrt sich die Reaktion ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2$ ) um und somit werden Salpetersäureionen  $\text{NO}_3^-$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel in Form von  $\text{NO}_2$  freigesetzt. Zu diesem Zeitpunkt wird von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel freigesetztes  $\text{NO}_x$  reduziert, um mit HC, CO oder dergleichen, das in der umgebenden Atmosphäre enthalten ist, zu reagieren, wie in Fig. 23(B) gezeigt. Wenn somit  $\text{NO}_2$  nicht an der Oberfläche vom Platin Pt vorhanden ist, wird  $\text{NO}_2$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel eins nach dem anderen freigesetzt. Wenn dementsprechend das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre fett eingestellt wird, wird das gesamte absorbierte  $\text{NO}_x$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel für eine kurze Zeit freigesetzt. Das freigesetzte  $\text{NO}_x$  wird reduziert und somit wird  $\text{NO}_x$  nicht außerhalb des Abgassystems freigesetzt.

[0095] Auch wenn das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre stöchiometrisch eingestellt wird, wird  $\text{NO}_x$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel freigesetzt. In diesem Fall jedoch wird das  $\text{NO}_x$  allmählich von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel freigesetzt und somit wird eine relativ lange Zeitdauer zum Freisetzen des gesamten absorbierten  $\text{NO}_x$  benötigt.

[0096] Nebenbei bemerkt weist die Fähigkeit zum Absorbieren von  $\text{NO}_x$  in dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel eine Grenze auf. Daher muß, bevor die Fähigkeit gesättigt ist,  $\text{NO}_x$  von dem  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel freigesetzt werden. Das heißt, bevor eine augenblickliche Menge von  $\text{NO}_x$ , das in dem Katalysator absorbiert ist, die Grenzmenge von  $\text{NO}_x$  erreicht, die darin absorbiert werden kann, muß  $\text{NO}_x$  von dem Katalysator freigesetzt werden und das freigesetzte  $\text{NO}_x$  muß reduziert und gereinigt werden, das heißt, der Katalysator muß regeneriert werden. Zu diesem Zweck muß die augenblickliche Menge an in dem Katalysator absorbiertem  $\text{NO}_x$  geschätzt werden. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist ein Speicherabbild von Mengen von in dem Katalysator pro Zeiteinheit bei der Niedrigtemperaturverbrennung A absorbiertem  $\text{NO}_x$  wie in Fig. 24(A) vorbestimmt. Bei diesem Speicherabbild sind Mengen von in dem Katalysator pro Zeiteinheit (A) absorbiertem  $\text{NO}_x$  als Funktion einer benötigten Motorlast (L) und einer Motordrehzahl (N) eingestellt. Ein Speicherabbild von Mengen an in dem Katalysator pro Zeiteinheit bei der normalen Verbrennung (B) absorbiertem  $\text{NO}_x$  ist wie in Fig. 24(B) vorbestimmt. In dem Speicherabbild sind Mengen an in dem Katalysator pro Zeiteinheit (B) absorbiertem  $\text{NO}_x$  als Funktionen einer benötigten Motorlast (L) und einer Motordrehzahl (N) eingestellt. Eine augenblickliche Menge an in dem Katalysator absorbiertem  $\text{NO}_x$  kann daher abgeschätzt werden, um diese Mengen an in dem Katalysator pro Zeiteinheit (A) und (B) absorbiertem  $\text{NO}_x$  zu integrieren. Wenn hierbei die Niedrig-

temperaturverbrennung bei einem fetten Luft/Kraftstoff-Verhältnis stattfindet, wird das absorbierte  $\text{NO}_x$  freigesetzt und somit wird eine Menge an in dem Katalysator pro Zeiteinheit (A) absorbiertem  $\text{NO}_x$  ein Minuswert.

[0097] Bei der vorliegenden Ausführungsform wird der Katalysator regeneriert, wenn die geschätzte Menge an in dem Katalysator absorbiertem  $\text{NO}_x$  größer als ein vorbestimmter zulässiger Wert wird. Fig. 25 zeigt ein erstes Flußdiagramm zu diesem Zweck. Das Flußdiagramm wird nach einer vorbestimmten Zeit wiederholt durchlaufen. Bei Schritt 101 wird als erstes bestimmt, ob die Regenerationszeit für den Katalysator 70 erreicht ist. Wenn die Regenerationszeit nicht erreicht, wird die Routine gestoppt. Wenn andererseits die geschätzte Menge an in dem Katalysator absorbiertem  $\text{NO}_x$  größer als ein vorbestimmter zulässiger Wert wird, wird das Ergebnis positiv und die Routine fährt bei Schritt 102 fort.

[0098] Bei Schritt 102 wird bestimmt, ob gerade die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt wird. Wenn das Ergebnis positiv ist, springt die Routine zu Schritt 103. Bei Schritt 103 wird bestimmt, ob eine Temperatur (T) des Katalysators größer oder gleich einer vorbestimmten Temperatur (T1) ist. Die Temperatur (T) des Katalysators kann direkt durch einen Temperatursensor, der in dem Katalysator angeordnet ist, erfaßt werden. Weiterhin kann die Temperatur (T) des Katalysators durch eine Temperatur des Abgases, das auf der Basis des augenblicklichen Motorbetriebszustands oder einer gemessenen Temperatur des Abgases geschätzt worden ist, geschätzt werden. Wenn das Ergebnis bei Schritt 103 negativ ist, wird die Niedrigtemperaturverbrennung bei dem stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Verhältnis oder einem fetten Luft/Kraftstoff-Verhältnis, das heißt, einem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis ausgeführt. Falls die Niedrigtemperaturverbrennung bei einem mageren Luft/Kraftstoff-Verhältnis ausgeführt wird, wird eine Menge an eingespritztem Kraftstoff erhöht und das Verbrennungsluft/Kraftstoff-Verhältnis wird stöchiometrisch oder fett eingestellt. Somit fällt die Sauerstoffkonzentration in der umgebenden Atmosphäre, so daß  $\text{NO}_x$  von dem Katalysator freigesetzt wird.

[0099] Wie vorhergehend erwähnt, sind bei der Niedrigtemperaturverbrennung relativ große Mengen an HC und CO in dem Abgas enthalten. Insbesondere das Kohlenwasserstoff HC ist ein Rußvorläufer oder in einer dazu vorherigen Stufe des Kohlenwasserstoff. Daher weist HC eine hohe Aktivierung auf und kann  $\text{NO}_x$ , das von dem Katalysator freigesetzt worden ist, vorzugsweise auch dann reduzieren, wenn die Temperatur des Katalysators niedrig ist. Wenn andererseits Kraftstoff lediglich in das Abgassystem zugeführt wird, besitzt der Kraftstoff (HC) keine hohe Aktivierung und der meiste Kraftstoff durchläuft den Katalysator mit dem Abgas. Jedoch kann lediglich eine kleine Menge an Kraftstoff den Katalysator unter Verwendung der Niedrigtemperaturverbrennung regenerieren. Wie vorstehend erwähnt, wird ferner wenig Ruß erzeugt, wenn das Verbrennungs-Luft/Kraftstoff-Verhältnis bei der Niedrigtemperaturverbrennung fett gemacht wird.

[0100] Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 103 positiv ist, d. h., wenn die Temperatur (T) des Katalysators relativ hoch ist, geht die Routine zu Schritt 104. Wenn von der Niedrigtemperaturverbrennung auf die Normalverbrennung umgestellt wird, wird bei Schritt 104 bestimmt, ob eine Menge an schädlichen Stoffen bzw. eine Schadstoffmenge (E), wie etwa HC, CO oder  $\text{NO}_x$ , die von dem Motor ausgestoßen wird, größer wird als eine vorbestimmte Menge (E1). Die von dem Motor ausgestoßene Schadstoffmenge (E) kann aus dem Speicherabbild auf der Basis der Motorlast und der Motordrehzahl bestimmt werden. Natürlich kann

die von dem Motor ausgestoßene Schadstoffmenge (E) direkt oder indirekt in dem Abgas erfaßt werden. Wenn das Resultat von Schritt 104 positiv ist, fährt die Routine bei Schritt 108 fort und die Niedrigtemperaturverbrennung wird bei dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis ausgeführt. Wenn das Ergebnis bei Schritt 104 jedoch negativ ist, d. h., wenn die Schadstoffmenge in dem Abgas auch wenn die Niedrigtemperaturverbrennung auf die Normalverbrennung umgestellt worden ist klein ist, fährt die Routine mit Schritt 105 auch dann fort. Bei Schritt 105 wird die Niedrigtemperaturverbrennung auf die Normalverbrennung bei einem mageren Luft/Kraftstoff-Verhältnis umgestellt.

[0101] Bei Schritt 106 wird als nächstes der Ventilkörper 71a von der Mittenposition zu einer Position eingestellt, die leicht in Richtung der einen in Fig. 18 gezeigten Absperrposition geschwenkt. Ein Teil des Abgases durchläuft daher den Katalysator 70 und der Rest umgeht (bypasses) den Katalysator 70. Da eine Menge an schädlichem Material in dem Abgas zu diesem Zeitpunkt klein ist, tritt kein Problem auf. Als nächstes führt die Kraftstoffzufuhreinheit 74 Kraftstoff in die Nähe des Katalysators 70 zu. Da die Temperatur (T) des Katalysators relativ hoch ist, wird der zugeführte Kraftstoff bevorzugt unter Verwendung des Oxidationskatalysemittels wie Platin Pt, das auf dem Katalysator aufgetragen ist und Sauerstoff verbraucht, oxidiert. Daher sinkt die Sauerstoffkonzentration in der umgebenden Atmosphäre und somit wird  $\text{NO}_x$  von dem Katalysator freigesetzt und das freigesetzte  $\text{NO}_x$  wird bevorzugt reduziert und gereinigt.

[0102] Da eine große Menge des Abgases den Katalysator umgeht, wird lediglich eine kleine Menge an zugeführtem Kraftstoff auf der Ausgangsstromseite des Katalysators mit einer kleinen Menge an Abgas ausgestoßen. Somit wird der meiste zugeführte Kraftstoff dazu verwendet, das Luft/Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre zu dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis zu machen. Dementsprechend ist eine Menge an Kraftstoff, die in diesem Fall zum Regenerieren des Katalysators benötigt wird, kleiner als in dem Fall, bei dem die Niedrigtemperaturverbrennung bei dem Regenerations-Luft/Kraftstoff-Verhältnis ausgeführt wird, wie vorstehend erwähnt.

[0103] Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 102 negativ ist, das heißt, wenn die Normalverbrennung in der Regenerationszeit des Katalysators ausgeführt wird, fährt die Routine mit Schritt 109 fort. Bei Schritt 109 wird festgestellt, wenn eine von dem Motor ausgestoßene Schadstoffmenge (E) größer ist als die vorbestimmte Menge (E1), genauso wie bei Schritt 104. Wenn das Ergebnis negativ ist, fährt die Routine bei Schritt 106 fort und eine große Menge an Abgas umgeht den Katalysator. Bei Schritt 107 führt anschließend die Kraftstoffzufuhreinheit 74 Kraftstoff in die Nähe des Katalysators zu. Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 109 positiv, d. h., wenn eine Menge an schädlichem Material groß ist, wird es nicht bevorzugt, daß das Abgas den Katalysator umgeht. Daher wird bei Schritt 107 Kraftstoff ohne ein Umgehen des Abgases zugeführt. Falls die Temperatur (T) des Katalysators niedrig ist, wird jedoch bei einer derartigen Regeneration des Katalysators bei der normalen Verbrennung der durch die Kraftstoffzufuhreinheit 74 zugeführte Kraftstoff nicht bevorzugt für die Regeneration funktionieren. Dementsprechend kann die gleiche Bestimmung wie bei Schritt 103 sofort vor Schritt 109 vorgesehen werden und die Regeneration kann, nachdem die Temperatur des Katalysators hoch geworden ist, aufgeführt werden.

[0104] Bei Schritt 106 des vorliegenden Flußdiagramms wird der Ventilkörper 71a von der Mittenposition auf die Position eingestellt, die leicht in Richtung der einen in Fig. 18 gezeigten Absperrposition geschwenkt ist, und somit strömt

nur ein Teil des Abgases in den Katalysator 70. Dies dient zum Verhindern eines Sauerstoffmangels, wenn der Kraftstoff, der in die Nähe des Katalysators zugeführt worden ist, durch Verwendung des Oxidationskatalysemittels verbrennt, das auf dem Katalysator aufgetragen ist. Falls dementsprechend der zugeführte Kraftstoff ausreichend verbrennen kann, um nur Sauerstoff in dem Abgas in dem ersten Verbindungsabschnitt 72a zu verwenden, kann der Ventilkörper 71a in der Mittenposition sein, so daß das gesamte Abgas den Katalysator umgeht. Daher strömt der zugeführte Kraftstoff nicht aus dem Katalysator mit dem Abgas und somit kann der Kraftstoffverbrauch weiter erniedrigt werden. [0105] Nebenbei gesagt kann der Dieselmotor der vorliegenden Erfindung zwischen der Niedrigtemperaturverbrennung und der Normalverbrennung, wie oben erwähnt, wechseln. Bei der Niedrigtemperaturverbrennung wird wenig Ruß (bzw. Partikel) erzeugt. Bei der Normalverbrennung jedoch wird eine relativ große Menge an Partikeln erzeugt. Die Partikel sind schädliche Materialien und somit muß ihre Emission beschränkt werden.

[0106] Der vorliegende Katalysator 70 besitzt, wie vorhergehend erwähnt, den Wandstromaufbau (wall-flow-type). Die Partikel sind viel kleiner als die Poren der Trennwand 54, aber kollidieren mit der Abgaseingangsstromseitenoberfläche der Trennwand 54 und der Porenoberfläche in der Trennwand 54 und werden somit eingefangen, wenn das Abgas die Trennwand 54 durchströmt. Somit funktioniert der vorliegende Katalysator 70 die Trennwand als eine Einfangwand zum Einfangen der Partikel. Wenn es jedoch nicht beabsichtigt ist, die Partikel einzufangen, kann der Katalysator keinen Wandstromaufbau aufweisen, das heißt, die Verschlüsse 53 in Fig. 22 können weggelassen werden.

[0107] Wenn nichts getan wird, lagern sich die eingefangenen Partikel allmählich in dem Katalysator 70 ab, so daß ein Abgaswiderstand allmählich ansteigt. Schließlich verursacht der erhöhte Abgaswiderstand einen ungünstigen Einfluß auf den Betrieb des Fahrzeugs. Demgemäß trägt jede Trennwand des vorliegenden Katalysators ein Freisetzungsmittel für aktiven Sauerstoff (im folgenden als ein Aktivsauerstofffreisetzungsmittel bezeichnet) und ein Edelmetallkatalysator, welche im folgenden erläutert werden, auf ihren beiden seitlichen Oberflächen und vorzugsweise ebenso auf den Porenoberflächen darin.

[0108] Das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel setzt aktiven Sauerstoff frei, um die Oxidation der Partikel zu unterstützen und nimmt vorzugsweise Sauerstoff auf und hält Sauerstoff, wenn Sauerstoff im Überschuß in der Umgebung vorhanden ist, und setzt den festgehaltenen Sauerstoff als aktiven Sauerstoff frei, wenn die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung absinkt.

[0109] Als Edelmetallkatalysemittel wird normalerweise Platin verwendet. Als das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel wird zumindest eines aus der folgenden Liste verwendet: Alkalimetalle, wie beispielsweise Kalium K, Natrium Na, Lithium Li, Cäsium Cs und Rubidium Rb, Erdalkalimetalle wie beispielsweise Barium Ba, Kalzium Ca und Strontium Sr, seltene Erdelemente wie beispielsweise Lanthan La und Yttrium Y und Übergangsmetalle.

[0110] Für ein Aktivsauerstofffreisetzungsmittel ist es wünschenswert, ein Alkalimetall oder ein Erdalkalimetall mit einer Ionisationstendenz zu verwenden, die größer als die von Kalzium Ca ist, das heißt, Kalium K, Lithium Li, Cäsium Cs, Rubidium Rb, Barium Ba oder Strontium Sr.

[0111] Im folgenden wird als nächstes erläutert wie die eingefangenen Partikel auf der Trennwand des Katalysators durch den ein derartiges Aktivsauerstofffreisetzungsmittel tragenden Katalysator unter Bezugnahme auf den Fall der Verwendung von Platin Pt und Kalium K oxidiert und ent-

fernt werden. Die Partikel werden auch bei Verwendung eines anderen Edelmetalls oder anderen Alkalimetalls, Erdalkalimetalls, eines Seltene-Erden-Elements oder eines Übergangsmetalls auf die gleiche Art und Weise oxidiert und entfernt.

[0112] Bei einem Dieselmotor findet die Verbrennung in der Regel bei einer Luftüberschußbedingung statt und daher enthält das Abgas eine große Menge an überschüssiger Luft. Das heißt, wenn das Verhältnis der Luft zu dem Kraftstoff, der dem Ansaugsystem und der Brennkammer zugeführt wird, als ein Luft/Kraftstoff-Verhältnis des Abgases bezeichnet wird, ist das Luft/Kraftstoff-Verhältnis mager. Weiterhin wird NO in der Brennkammer erzeugt und somit enthält das Abgas NO. Weiterhin enthält der Kraftstoff Schwefel S und Schwefel S reagiert mit Sauerstoff in der Brennkammer zu SO<sub>2</sub>. Dementsprechend strömt das überschüssigen Sauerstoff, NO und SO<sub>2</sub> enthaltende Abgas in die Abgaseingangsstromseite des Katalysators 70.

[0113] Fig. 26(A) und 26(B) sind vergrößerte Ansichten, die schematisch die Oberfläche des Katalysators 70 zeigen, mit welchem das Abgas in Kontakt kommt. In Fig. 26(A) und 26(B) bezeichnet das Bezugszeichen 60 ein Partikel aus Platin Pt und 61 bezeichnet das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel, das Kalium K enthält.

[0114] Wie vorhergehend beschrieben enthält das Abgas eine große Menge an überschüssigem Sauerstoff. Wenn das Abgas mit der Abgaskontaktfläche der Trennwand 54 des Katalysators 70 in Kontakt kommt, haftet Sauerstoff O<sub>2</sub> auf der Platinoberfläche in der Form von O<sub>2</sub><sup>-</sup> oder O<sup>2-</sup>, wie in Fig. 26(A) gezeigt. Andererseits reagiert das in dem Abgas enthaltene NO mit O<sub>2</sub><sup>-</sup> oder O<sup>2-</sup> auf der Platinoberfläche und erzeugt NO<sub>2</sub> (2NO + O<sub>2</sub> → 2NO<sub>2</sub>). Als nächstes wird ein Teil des erzeugten NO<sub>2</sub> in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 absorbiert, während es am Platin Pt oxidiert, und diffundiert in das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel in Form von Salpetersäureionen NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, während es mit Kalium K zu Kaliumnitrat KNO<sub>3</sub> kombiniert, wie in Fig. 26(A) gezeigt. Somit wird bei der vorliegenden Ausführungsform NO<sub>x</sub>, das in dem Abgas enthalten ist, in dem Katalysator 70 absorbiert und die davon in die Atmosphäre freigesetzte Menge kann verringert werden, das heißt, das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel funktioniert ebenso als ein NO<sub>x</sub>-Absorptionmittel.

[0115] Ferner enthält das Abgas SO<sub>2</sub>, wie vorhergehend beschrieben, und SO<sub>2</sub> wird ebenso in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 aufgrund eines Mechanismus absorbiert, der ähnlich zu dem im Fall des NO ist. Das heißt, wie zuvor beschrieben, haftet Sauerstoff O<sub>2</sub> an der Oberfläche von Platin Pt in der Form von O<sub>2</sub><sup>-</sup> oder O<sup>2-</sup>, und SO<sub>2</sub> in dem Abgas reagiert mit O<sub>2</sub><sup>-</sup> oder O<sup>2-</sup> an der Oberfläche vom Platin Pt zu SO<sub>3</sub>. Als nächstes wird ein Teil des erzeugten SO<sub>3</sub> in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 absorbiert, während es auf dem Platin Pt oxidiert wird, und diffundiert in das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 in der Form von Schwefelsäureionen SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, während diese mit Kalium K zu Kaliumsulfat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kombinieren. Somit werden in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 Kaliumnitrat KNO<sub>3</sub> und Kaliumsulfat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> erzeugt.

[0116] Die Partikel in dem Abgas haften an der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61, das durch den Katalysator 70 getragen wird, wie durch 62 in Fig. 26(B) bezeichnet. Zu diesem Zeitpunkt sinkt die Sauerstoffkonzentration auf der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61, mit welchem der Partikel 62 in Kontakt ist. Da die Sauerstoffkonzentration sinkt, tritt eine Differenz in der Konzentration des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 mit einer hohen Sauerstoffkonzentration auf, und somit tendiert der Sauerstoff in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel

61 dazu, in Richtung der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 mit welchem das Partikel 62 in Kontakt ist, zu wandern. Folglich wird das in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 erzeugte Kaliumnitrat KNO<sub>3</sub> in Kalium K, Sauerstoff O und NO abgebaut, wobei Sauerstoff O in Richtung der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 wandert, mit dem das Partikel 62 in Kontakt steht, und NO wird zu der äußeren Seite von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 emittiert. NO, das nach außen emittiert worden ist, wird auf Platin Pt auf der Ausgangsstromseite oxidiert und wird wiederum in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 absorbiert.

[0117] Weiterhin wird zu diesem Zeitpunkt Kaliumsulfat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, das in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 erzeugt worden ist, ebenso in Kalium K, Sauerstoff O und SO<sub>2</sub> abgebaut, wobei Sauerstoff O in Richtung der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 wandert, mit welchem das Partikel 62 in Kontakt ist, und SO<sub>2</sub> wird zu der Außenseite von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 emittiert. Das zu der Außenseite freigesetzte SO<sub>2</sub> wird auf Platin auf der Ausgangsstromseite oxidiert und wiederum in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 absorbiert. Hier jedoch ist Kaliumsulfat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> stabil und setzt weniger aktiven Sauerstoff als Kaliumnitrat KNO<sub>3</sub> frei.

[0118] Andererseits wird der in Richtung der mit dem Partikel 62 in Kontakt stehende Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 wandernde Sauerstoff, der der aus dem Abbau der Verbindungen von Kaliumnitrat KNO<sub>3</sub> oder Kaliumsulfat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> stammt. Der Sauerstoff O, der aus der Verbindung abgebaut worden ist, weist ein hohes Energieniveau und eine hohe Aktivität auf. Daher ist Sauerstoff, der in Richtung der Oberfläche des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 gewandert ist, mit welchem das Partikel 62 in Kontakt steht, ist aktiver Sauerstoff (Aktivsauerstoff) O. Nach einem Kontaktieren mit Aktivsauerstoff O wird das Partikel 62 ohne dem Erzeugen einer Leuchtflamme für eine kurze Zeit, z. B. für einige Minuten oder einige zehn Minuten, oxidiert. Ferner wird Aktivsauerstoff zum Oxidieren des Partikels 62 ebenso freigesetzt, wenn NO oder SO<sub>2</sub> in dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 absorbiert sind. Das heißt, es kann festgestellt werden, daß NO<sub>x</sub> in das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 in Form von Salpetersäureionen NO<sub>3</sub><sup>-</sup> diffundiert, während es mit Sauerstoffatomen kombiniert und von einem Sauerstoffatom getrennt werden soll, und während dieser Zeit wird Aktivsauerstoff erzeugt. Die Partikel 62 werden durch diesen Aktivsauerstoff ebenso oxidiert. Weiterhin werden die an dem Katalysator 70 haftenden Partikel nicht nur durch einen Aktivsauerstoff oxidiert, sondern ebenso durch Sauerstoff, der in dem Abgas enthalten ist.

[0119] Je höher die Temperatur des Katalysators wird, desto mehr werden das Platin Pt und das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 aktiviert. Je höher daher die Temperatur des Katalysators wird, desto größer wird die Menge an Aktivsauerstoff O, die von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 pro Zeiteinheit freigesetzt wird. Je höher die Temperatur der Partikel ist, desto leichter werden natürlich weiterhin die Partikel oxidiert. Daher steigt zusammen mit der Temperatur des Katalysators auch die Menge an Partikeln, die pro Zeiteinheit an, die in dem Katalysator ohne einem Erzeugen einer Leuchtflamme oxidiert und entfernt werden können.

[0120] Die durchgezogene Linie in Fig. 27 zeigt die Menge an Partikeln (G), die pro Zeiteinheit ohne einem Erzeugen einer Leuchtflamme oxidiert und entfernt werden können. In Fig. 27 repräsentiert die Abszisse die Temperatur (TF) des Katalysators. Hierbei zeigt Fig. 27 den Fall, bei dem die Zeiteinheit eine Sekunde ist, das heißt, die Menge

an Partikeln (G), die pro einer Sekunde oxidiert und entfernt werden können. Jedoch kann auch jede andere Zeit, wie beispielsweise eine Minute, zehn Minuten oder dergleichen als Zeiteinheit verwendet werden. Z. B. repräsentiert für den Fall, daß zehn Minuten als Zeiteinheit verwendet werden, die Menge an Partikel (G), die pro Zeiteinheit oxidiert und entfernt werden können, die Menge an Partikel (G), die pro zehn Minuten oxidiert und entfernt werden können. Auch in diesem Fall steigt die Menge an Partikeln (G), die ohne einem Erzeugen einer Leuchtflamme oxidiert und entfernt werden können, zusammen mit dem Anstieg der Temperatur des Katalysators 70 an, wie in Fig. 27 gezeigt. Die Menge an Partikeln, die aus der Brennkammer pro Zeiteinheit emittiert werden, wird als Menge an emittierten Partikeln (M) bezeichnet. Wenn die Menge an emittierten Partikeln (M) kleiner ist als die Menge an Partikeln (G), die oxidiert und entfernt werden können, z. B. die Menge an emittierten Partikeln (M) pro 1 Sekunde kleiner ist als die Menge von Partikeln (G), die pro 1 Sekunde entfernt und oxidiert werden können, oder die Menge an emittierten Partikeln (M) pro 10 Minuten kleiner ist als die Menge an Partikeln (G), die pro 10 Minuten oxidiert und entfernt werden können, das heißt, in dem Bereich (I) in Fig. 27, werden alle von der Brennkammer emittierten Partikel oxidiert und entfernt, ohne anschließend eine Leuchtflamme in den Katalysator 70 für den vorhergehend erwähnten kurzen Zeitraum zu erzeugen.

[0121] Wenn andererseits die Menge an emittierten Partikeln (M) größer als die Menge an Partikeln (G) ist, die oxidiert und entfernt werden können, das heißt, in dem Bereich (II) in Fig. 27, ist die Menge an Aktivsauerstoff nicht ausreichend, um alle Partikel anschließend zu oxidieren und zu entfernen. Fig. 28(A) bis (C) zeigen die Art und Weise der Oxidation der Partikel in einem solchen Fall.

[0122] D. h. für den Fall, daß die Menge an Aktivsauerstoff für eine Oxidation aller Partikel fehlt bzw. nicht ausreicht, wenn die Partikel 62 an dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel 61 haften, wird lediglich ein Teil der Partikel oxidiert werden, wie in Fig. 28(A) gezeigt, und der andere Teil der Partikel, der nicht ausreichend oxidiert worden ist, verbleibt auf der Abgaseingangsstromoberfläche des Katalysators. Wenn der Zustand anhält, bei der die Menge an Aktivsauerstoff fehlt, verbleibt ein Teil der Partikel, die nicht oxidiert worden sind, anschließend auf der Abgaseingangsstromoberfläche des Katalysators. Folglich ist die Abgaseingangsstromoberfläche des Katalysators mit den Restpartikeln 63 bedeckt, wie in Fig. 28(B) gezeigt.

[0123] Die restlichen Partikel 63 wandeln sich allmählich in einen kohlenstoffhaltigen Stoff um, der kaum oxidiert werden kann. Wenn weiterhin die Abgaseingangsstromoberfläche mit den restlichen Partikeln 63 bedeckt wird, wird die Wirkung von Platin Pt zum Oxidieren von NO und SO<sub>2</sub>, und die Wirkung des Aktivsauerstofffreisetzungsmittels 61 zum Freisetzen von Aktivsauerstoff unterdrückt. Die restlichen Partikel 63 können über einen relativ langen Zeitraum allmählich oxidiert werden. Wie jedoch in Fig. 28(C) gezeigt, lagern sich andere Partikel 64 auf den restlichen Partikeln 63 eines nach dem anderen ab, und wenn die Partikel so weit abgelagert sind, daß sie laminieren, können diese Partikel auch dann, wenn sie ohne weitere leicht oxidierbare Partikel sind, nicht oxidiert werden, da diese Partikel von dem Platin Pt oder von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel getrennt sind. Dementsprechend lagern sich darauffolgend andere Partikel auf diesen Partikeln 64 ab. Das heißt, wenn der Zustand anhält, bei dem die Menge an emittierten Partikeln (M) größer ist als die Menge an Partikeln (G), die oxidiert und entfernt werden können, lagern sich die Partikel ab und laminieren bzw. Beschichten den Katalysator.

[0124] In dem Bereich (I) von Fig. 27 werden die Partikel oxidiert und entfernt, ohne daß eine Leuchtflamme für die kurze Zeit erzeugt wird, und in dem Bereich (II) von Fig. 27 lagern sich Partikel ab und "laminieren" den Katalysator. Daher kann die Ablagerung der Partikel auf dem Katalysator verhindert werden, wenn die Beziehung zwischen der Menge an emittierten Partikeln (M) und der Menge an Partikeln (G), die oxidiert und entfernt werden können, sich in dem Bereich (I) befindet. Folglich ändert sich ein Druckverlust des Abgases in dem Katalysator kaum und ein minimaler Druckverlustwert, der nahezu konstant ist, wird aufrechterhalten. Somit kann das Abfallen der Motorausgangsleistung so niedrig wie möglich gehalten werden. Dies ist jedoch nicht immer realisierbar und die Partikel können sich auf dem Katalysator ablagern, wenn nichts getan wird.

[0125] Um bei der vorliegenden Ausführungsform die Ablagerung von Partikeln auf dem Katalysator zu verhindern, steuert die vorstehend erwähnte elektronische Steuereinheit 30 den Ventilkörper 71a gemäß einem zweiten Flußdiagramm, das in Fig. 29 gezeigt ist. Das vorliegende Flußdiagramm wird nach einer vorgegebenen Zeit wiederholt. Bei Schritt 201 wird bestimmt, ob eine eingestellte Zeit für ein Umschalten des Ventilkörpers 71a erreicht ist. Die eingestellte Zeit bzw. der eingestellte Zeitpunkt wird nach jeder vorbestimmten Zeitdauer oder nach einer vorbestimmten Fahrstrecke eingestellt. Wenn das Ergebnis negativ ist, wird die Routine gestoppt. Wenn das Ergebnis jedoch positiv ist, fährt die Routine bei Schritt 102 fort und es wird bestimmt, ob eine augenblickliche Menge an Partikeln, die von dem Motor emittiert werden, das heißt, eine Menge an emittierten Partikeln (M), größer ist als eine vorbestimmte Menge (M1). Die Menge an emittierten Partikeln (M1) kann aus einem Speicherabbild auf der Basis der Motorlast und der Motordrehzahl ermittelt werden, oder kann unter Verwendung eines optischen Sensors zum optischen Erfassen einer Menge an Partikeln in dem Abgas gemessen werden. In dem Speicherabbild sind Mengen an emittierten Partikeln eingestellt, um zu berücksichtigen, ob die Niedrigtemperaturverbrennung oder die Normalverbrennung bei dem Dieselmotor der vorliegenden Erfindung ausgeführt wird.

[0126] Wenn das Ergebnis bei Schritt 202 negativ ist, z. B., bei Motorbremszuständen, Motorleerlaufzuständen, Motorniedriglastzuständen oder bei Niedrigtemperaturverbrennung, wobei eine Menge an Partikeln in dem Abgas nicht groß, wird bei Schritt 203 der Ventilkörper 71a umgeschaltet. D. h., die Eingangsstromseite und die Ausgangsstromseite des Katalysators werden vertauscht. Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 202 positiv ist, ist eine Menge an Partikeln in dem Abgas relativ groß, und somit wird bei Schritt 204 der Ventilkörper 71a in diesem Moment nicht umgeschaltet. Wenn danach das Ergebnis bei Schritt 202 negativ ist, wird der Ventilkörper 71a umgeschaltet.

[0127] Die Fig. 30 zeigt eine vergrößerte Schnitansicht der Trennwand 54 des Katalysators. Während sich das Fahrzeug über einen vorbestimmten Zeitraum hinweg oder über eine vorbestimmte Fahrstrecke hinweg fortbewegt, kann der Motorbetrieb in dem Bereich II der Fig. 27 ausgeführt werden. Somit kollidieren die Partikel mit der Trennwand 54 die Abgaseingangsstromoberfläche der Trennwand 54 und der der Strömungsrichtung des Abgases zugewandten Oberfläche der darin enthaltenen Poren, d. h., mit einer der Einfangoberflächen der Trennwand 54, werden dabei eingefangen und werden durch den von Aktivsauerstofffreisetzungsmitteln freigesetzten Aktivsauerstoff oxidiert und entfernt, wobei aber die Partikel durch die nicht ausreichende Oxidation übrig bleiben können, wie in Fig. 30(A) gezeigt. In diesem Zustand hat der Abgaswiderstand des Katalysators keinen schlechten Einfluß auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs.

Wenn sich jedoch mehr und mehr Partikel ablagern, können jedoch Probleme, bei welchen die Motorleistung beträchtlich abfällt und dergleichen, auftreten. In diesem Zustand wechselt das zweite Flußdiagramm die Eingangsstromseite und die Ausgangsstromseite des Katalysators, wenn eine Menge an Partikeln in dem Abgas nicht groß ist. Daher lagern sich keine Partikel auf den restlichen Partikeln auf einer der Einfangsflächen der Trennwand ab und damit können die restlichen Partikel durch Aktivsauerstoff, der von einer der Einfangsflächen freigesetzt worden ist, allmählich oxidiert und entfernt werden. Genauer gesagt, werden ferner die Restpartikel in den Poren in der Trennwand ohne weiteres in feine Stücke durch den Abgasstrom in der Umkehrrichtung zertrümmert, wie in Fig. 30b gezeigt, und können hauptsächlich durch die Poren in Richtung der Ausgangsstromseite sich bewegen.

[0128] Demzufolge diffundieren viele der in feine Stücke zertrümmerten Partikel in die Pore der Seitenwand, kontaktieren direkt das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel, das auf der Porenoberfläche aufgetragen ist, und werden oxidiert und entfernt. Wenn somit das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel ebenso auf den Porenflächen in der Trennwand aufgetragen ist, können die restlichen Partikel sehr leicht oxidiert und entfernt werden. An der anderen Einfangoberfläche, die nun auf der Eingangsstromseite ist, da der Strom des Abgases umgekehrt worden ist, d. h., die Abgaseingangsstromoberfläche der Trennwand 54 und die der Strömungsrichtung des Abgases zugewandten Oberfläche der darin enthaltenen Poren, auf welche das Abgas hauptsächlich stößt (auf die gegenüber liegende Seite eines der Einfangsflächen), haften darauf die Partikel in dem Abgas neu und werden durch von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel freigesetzten Aktivsauerstoff oxidiert und entfernt. Bei dieser Oxidation bewegt sich ein Teil des von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel freigesetzten Aktivsauerstoff auf der anderen Einfangsfläche zu der Ausgangsstromseite mit dem Abgas, und oxidiert und entfernt die Partikel, die auf einer der Einfangsflächen ungeachtet des umgekehrten Abgasstroms übrig geblieben sind.

[0129] Das heißt, die restlichen Partikel auf einer der Einfangsflächen sind nicht nur dem von diesen Eingangsflächen freigesetzten Aktivsauerstoff ausgesetzt, sondern durch Umkehrung des Abgasstroms ebenso den Resten des Aktivsauerstoffs, der zur Oxidation und Entfernung der Partikel auf der anderen Einfangsfläche verwendet wird. Auch falls einige der Partikelablagerungen eine der Einfangsflächen der Trennwand des Katalysators "laminiieren", wenn der Abgasstrom umgekehrt, kommt der Aktivsauerstoff bei den abgelagerten Partikeln an und es werden keine Partikel erneut auf die abgelagerten Partikel aufgrund des umgekehrten Abgasstroms abgelagert und somit werden die abgelagerten Partikel allmählich oxidiert und entfernt und sie können für einen Zeitraum bis zur nächsten Umkehr des Abgases ausreichend oxidiert und entfernt werden. Beim abwechselnden Verwenden der einen Einfangsfläche und der anderen Einfangsfläche der Trennwand ist natürlich die Menge an eingefangenen Partikeln auf jeder Einfangsfläche kleiner als bei dem Katalysator, bei welchem die einzige Einfangsfläche immer die Partikel einfängt. Dies erleichtert das Oxidieren und Entfernen von eingefangenen Partikeln auf der Einfangsfläche.

[0130] Bei dem zweiten Flußdiagramm wird der Ventilkörper nach jeder vorbestimmten Zeitdauer oder vorbestimmten Fahrstrecke umgeschaltet. Somit wird der Ventilkörper umgeschaltet, bevor die abgelagerten Partikel in kohlenstoffhaltigen Stoff umgewandelt werden können, der kaum oxidiert werden kann. Ferner kann dies Probleme vermeiden, bei welchen die große Menge an abgelagerten Par-

tikeln auf einmal zündet und verbrennt, und durch die Verbrennungswärme den Katalysator schmelzen läßt. Auch wenn die große Menge an Partikeln auf einer der Einfangsflächen der Trennwand des Katalysators abgelagert worden sind, werden, wenn der Ventilkörper geschaltet wird, die abgelagerten Partikel weiterhin leicht in feine Stücke durch den umgekehrten Abgasstrom zertrümmert werden. Ein Teil der Partikel, der in den Poren der Trennwand nicht oxidiert und entfernt werden kann, wird aus dem Katalysator ausgestoßen. Dadurch jedoch wird es verhindert, daß der Abgaswiderstand des Katalysators vergrößert wird und somit einen schlechten Einfluß auf den Betrieb des Fahrzeugs aufweist. Ferner kann die andere Einfangsfläche der Trennwand des Katalysators neuerlich Partikel einfangen. Bei der vorliegenden Abgasreinigungsvorrichtung, umgeht, wie vorstehend erwähnt, das Abgas den Katalysator 70, während der Ventilkörper 71a von einer Absperrposition zu der anderen Absperrposition umgeschaltet wird. Gemäß dem zweiten Flußdiagramm enthält das Abgas keine oder wenige Partikel, wenn der Ventilkörper umgeschaltet wird. Wenn das Abgas den Katalysator für einen kurzen Zeitraum zum Umschalten des Ventilkörpers 71a umgeht, werden somit wenige Partikel aus dem Abgassystem nach außen ausgestoßen.

[0131] Bei dem zweiten Flußdiagramm kann unter Verwendung eines Anstiegs der Druckdifferenz zwischen der Abgaseingangsstromseite und der Abgasausgangsstromseite des Katalysators in Übereinstimmung mit einer Menge an Partikel, die auf den Katalysator abgelagert worden sind, die eingestellte Zeit bzw. der Schaltzeitpunkt zum Umschalten des Ventilkörpers eingestellt werden, wenn der Differenzdruck größer als ein vorbestimmter Druck ist und wenn bestimmt wird, daß eine gewisse Menge an Partikel sich auf dem Katalysator abgelagert haben. Genauer gesagt, wird ein Abgasdruck an dem ersten Verbindungsabschnitt 72a durch einen darin angeordneten Drucksensor erfaßt und ein Abgasdruck in dem zweiten Verbindungsabschnitt 72b wird durch einen darin angeordneten Drucksensor erfaßt, und es wird bestimmt, ob der Absolutwert der Differenz zwischen den beiden Drücken größer als ein vorbestimmter Wert ist. Hierbei wird der absolute Wert bei der Bestückung verwendet. Daher kann eine Erhöhung bei der Druckdifferenz auch dann bestimmt werden, wenn die Abgaseingangsstromseite entweder der erste Verbindungsabschnitt 72a oder der zweite Verbindungsabschnitt 72b ist. Genau genommen verändert sich die Druckdifferenz zwischen den beiden Seiten des Katalysators in Übereinstimmung mit dem Druck des Abgases, das aus der Brennkammer bei jedem Motorbetriebszustand ausgestoßen wird. Demzufolge wird bei der Bestimmung der Ablagerung der Partikel vorzugsweise der Motorbetriebszustand spezifiziert.

[0132] Bei dieser Bestimmung kann, anders als bei der Druckdifferenz, ein Beobachten der Veränderung eines elektrischen Widerstands auf einer vorbestimmten Trennwand des Katalysators aufgrund der Tatsache, daß der elektrische Widerstand sich zusammen mit der Ablagerung von Partikeln darauf verringert, verwendet werden oder, die Tatsache, daß Transmissions- oder Reflexionsvermögen von Licht auf einer vorbestimmten Trennwand des Katalysators zusammen mit der Ablagerung von Partikeln darauf absinkt, verwendet werden. Wenn der Schaltzeitpunkt durch die direkte Bestimmung der Ablagerung der Partikel eingestellt wird, kann es somit sicher verhindert werden, daß die Motorausgangsleistung beträchtlich absinkt.

[0133] Wenn der Katalysator 70 zum Einfangen von Partikeln verwendet wird, ist es somit sehr wirksam, daß die Abgaseingangsstromseite und die Abgasausgangsstromseite des Katalysators umgekehrt bzw. vertauscht werden, um zu



verhindern, daß eine große Menge an Partikeln sich darauf ablagert. Ungeachtet dem zweiten Flußdiagramm, kann z. B. der Ventilkörper 71a von Zeit zu Zeit ohne die Bestimmung der Zeit umgeschaltet werden. Daneben kann bei dem ersten Flußdiagramm, nachdem das Abgas den Katalysator umgegangen hat, der Ventilkörper 71a nicht in die eine Absperrposition zugedreht werden und kann zu der anderen Absperrposition umgeschaltet werden. In diesem Fall wird die Kraftstoffzufuhreinheit 74 auf dem ersten Verbindungsabschnitt 72a angeordnet und somit ist der Ventilkörper 71a, wenn der Katalysator sich beim nächsten Mal regeneriert, immer noch zwischen der einen Absperrposition und der Mittenposition, um lediglich einen Teil des Abgases durch den Katalysator durchzulassen. Wenn die Kraftstoffzufuhreinheit an sowohl dem ersten als auch dem zweiten Verbindungsabschnitt 72a bzw. 72b angeordnet ist, kann der Ventilkörper 71 natürlich derart gesteuert werden, daß lediglich ein Teil des Abgases in einen der Verbindungsabschnitte strömt, zu welchem der Kraftstoff zugeführt wird.

[0134] Somit verwendet für den Fall, daß der Katalysator zum Umschalten seiner Abgaseingangsstromseite und seiner Abgasausgangsstromseite zum Oxidieren und Entfernen der abgelagerten Partikel verwendet wird, der Katalysator hauptsächlich abwechselnd die eine oder die andere Seite der Trennwand zum Absorbieren von  $\text{NO}_x$ . Demgemäß benötigt die vorliegende Ausführungsform, wenn Kraftstoff lediglich einer Seite der Trennwand des Katalysators zugeführt worden ist, einen relativ langen Zeitraum, um das gesamte absorbierte  $\text{NO}_x$  in der anderen Seite der Trennwand freizusetzen. Um diesen Regenerationszeitraum zu verkürzen, wird es somit bevorzugt, daß die Kraftstoffzufuhreinheit an beiden Seiten der Verbindungsabschnitte angeordnet ist und der Kraftstoff zu einer der beiden Seiten der Trennwand zugeführt wird, auf welcher  $\text{NO}_x$  hauptsächlich absorbiert worden ist. Wenn das gesamte Abgas den Katalysator umgeht, können natürlich bei der Regeneration die zwei Kraftstoffzufuhreinheiten Kraftstoff gleichzeitig zuführen und somit kann  $\text{NO}_x$  von beiden Seiten der Trennwand gleichzeitig freigesetzt werden, um den Regenerationszeitraum weiter zu verkürzen.

[0135] Die vorliegende Abgasreinigungsvorrichtung kann die Abgaseingangsstromseite und die Abgasausgangsstromseite des Katalysators durch einen sehr einfachen Aufbau umkehren. Weiterhin benötigt der Katalysator eine große Öffnungsfläche, um die Einführung des Abgases zu erleichtern. Bei der Vorrichtung kann der Katalysator mit einer großen Öffnungsfläche verwendet werden, ohne daß es schwierig ist, ihn in ein Fahrzeug zu montieren, wie in Fig. 18 und 19 gezeigt. Daneben wird es für den Fall, daß der Katalysator zum Einfangen der Partikel verwendet wird, bei den Schritten 104 und 109 des ersten Flußdiagramms bevorzugt, daß die Partikel Schadstoffe enthalten sind. Das heißt, wenn ein Betrag an emittierten Partikeln groß ist, wird es bevorzugt, daß das Abgas den Katalysator nicht umgeht.

[0136] Fig. 31 zeigt ein drittes Flußdiagramm zum Verhindern der starken Ablagerung der Partikel auf den Katalysator. Das vorliegende Flußdiagramm wird nach einem vorbestimmten Zeitraum wiederholt. Bei Schritt 301 wird es als erstes bestimmt, ob eine momentane Menge an eingespritztem Kraftstoff (TAU) kleiner ist als eine vorbestimmte Menge an eingespritztem Kraftstoff (TAU1). Wenn das Ergebnis negativ ist, ist die Menge an eingespritztem Kraftstoff relativ groß und damit die Temperatur des Abgases relativ hoch. In diesem Augenblick verbleibt der Ventilkörper in einer der beiden Absperrpositionen.

[0137] Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 301 positiv ist, ist die Temperatur des Abgases niedrig. Wenn das gesamte Abgas den Katalysator durchläuft, sinkt dement-

sprechend die Temperatur des Katalysators und sinkt eine Menge an Partikeln, die davon oxidiert und entfernt werden können. Daher lagern sich Partikel leicht auf dem Katalysator ab. Bei Schritt 302 in dem vorliegenden Flußdiagramm wird eine Menge an vorbei geleitetem Abgas derart berechnet, daß je niedriger die Temperatur des Abgases ist oder je kleiner die Menge des eingespritzten Kraftstoffes ist, desto größer die Menge des Abgases ist, das den Katalysator umgeht bzw. daran vorbei geleitet wird. Bei Schritt 303 wird als nächstes der Öffnungsgrad des Ventilkörpers zwischen einer der beiden Absperrpositionen und der Mittenposition auf der Basis des Betrags an vorbei geleitetem Abgas gesteuert. [0138] Wenn z. B. eine Kraftstoffsenkung durchgeführt wird, um die Temperatur des Abgases sehr niedrig zu machen, wird somit veranlaßt, daß das gesamte Abgas den Katalysator umgeht, und wenn die Temperatur des Abgases nicht sehr niedrig ist, wird nur ein Teil des Abgases veranlaßt, den Katalysator zu umgehen. Daher wird die Temperatur des Katalysators relativ hoch gehalten und somit eine Menge an Partikel, die von ihm oxidiert und entfernt werden können, hoch gehalten. Dementsprechend kann die starke Ablagerung der Partikel auf den Katalysator verhindert werden. Wenn bei dem vorliegenden Flußdiagramm das Ergebnis bei Schritt 301 positiv ist, kann natürlich veranlaßt werden, daß das ganze Abgas den Katalysator umgeht, um eine Erniedrigung der Temperatur des Katalysators sicher zu verhindern. Wenn daneben ein Teil oder das gesamte Abgas den Katalysator umgeht, durchläuft, falls die Kraftstoffzufuhreinheit 74 Kraftstoff zu dem Katalysator zuführt (wenn ein Teil des Abgases den Katalysator umgeht, wird der Kraftstoff von der Abgaseingangsstromseite zugeführt), wenig zugeführter Kraftstoff den Katalysator und der Kraftstoff verbrennt vorzugsweise unter Verwendung des auf den Katalysator aufgetragenen Oxidationskatalysemittels. Daher kann die Verbrennungswärme die Temperatur des Katalysators anheben. Somit kann eine Menge an Partikeln, die auf den Katalysator oxidiert und entfernt werden, verbessert werden und die Ablagerung der Partikel auf den Katalysator kann sicher verhindert werden. Nachdem das Abgas den Katalysator umgangen hat, wird der Ventilkörper 71a vorzugsweise zu der gegenüber liegenden Absperrposition umgeschaltet. Falls die Partikel auf den Katalysator sich ablagern, können die abgelagerten Partikel daher vorzugsweise oxidiert und entfernt werden, wie es vorhergehend erwähnt worden ist.

[0139] Ferner kann es bei dem vorliegenden Flußdiagramm anstelle der Bestimmung bei Schritt 301 z. B. erfaßt werden, ob der Fahrer das Bremspedal niedergedrückt oder das Gaspedal freigibt, wenn das Fahrzeug gestoppt ist. Zu diesem Zeitpunkt besteht ein Motorleerlaufzustand und somit ist die Menge an eingespritztem Kraftstoff sehr klein. Daher kann das gesamte Abgas oder ein Teil davon veranlaßt werden, den Katalysator zu umgehen. Wenn die Temperatur des Abgases niedrig ist, wird kein oder wenig Treibstoff eingespritzt und somit werden auch dann keine Partikel nach außen von dem Abgassystem emittiert, wenn das Abgas den Katalysator umgeht. Außerdem ist zu diesem Zeitpunkt eine Menge an schädlichen Materialien, wie beispielsweise HC, CO und  $\text{NO}_x$ , die von dem Motor ausgestoßen werden, klein und somit gelangt keine große Menge dieser Materialien aus dem Abgassystem nach außen.

[0140] Somit ist es wirksam, daß bei Bedarf zumindest ein Teil des Abgases veranlaßt wird, den Katalysator nicht zu durchlaufen, sondern ihn zu umgehen. Bei der vorliegenden Vorrichtung zum Reinigen von Abgas wird der Umschaltabschnitt 71 zum Wechseln der Abgaseingangsstromseite und der Abgasausgangsstromseite des Katalysators verwendet, um das Abgas zu veranlassen, den Katalysator zu umgehen.



Jedoch kann anstelle eines derartigen Umschaltabschnitts ein anderer einfacher Mechanismus vorgesehen werden, um zumindest einen Teil des Abgases zu veranlassen, den Katalysator zu umgehen, und das Abgas kann unter Verwendung dieses Mechanismus bei Bedarf veranlaßt werden, den Katalysator zu umgehen.

**[0141]** Wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators fett gemacht wird, d. h., wenn die Sauerstoffkonzentration darin erniedrigt ist, wird ferner zu dieser Zeit aktiver Sauerstoff O von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** nach außen freigesetzt. Daher werden die abgelagerten Partikel jene, die durch die große Menge an zu dieser Zeit freigesetztem Aktivsauerstoff leicht oxidiert werden, und können dadurch ohne eine Leuchtflamme oxidiert und entfernt werden.

**[0142]** Wenn andererseits das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators mager gehalten wird, wird die Oberfläche von Platin Pt mit Sauerstoff bedeckt, d. h., eine Sauerstoffkontamination verursacht. Wenn eine derartige Sauerstoffkontamination verursacht wird, sinkt die Oxidationswirkung von Platin auf  $\text{NO}_x$  und somit sinkt die Absorptionseffizienz von  $\text{NO}_x$ . Daher verringert sich die Menge an von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** freigesetztem Aktivsauerstoff. Wenn jedoch das Luft-Kraftstoffverhältnis fett eingestellt wird, wird Sauerstoff auf der Oberfläche von Platin verbraucht und somit die Sauerstoffkontamination verhindert. Wenn demgemäß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis wieder von fett auf mager umgestellt wird, wird die Oxidationswirkung auf  $\text{NO}_x$  stark und somit steigt die Absorptionseffizienz an. Daher erhöht sich die Menge an Aktivsauerstoff, der von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** freigesetzt wird.

**[0143]** Wenn somit das Luft-Kraftstoff-Verhältnis mager gehalten wird, und wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis von Zeit zu Zeit von mager auf reich verändert wird, wird die Sauerstoffkontamination von Platin Pt zu diesem Zeitpunkt jedesmal verändert und somit erhöht sich die Menge an freigesetztem Aktivsauerstoff, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis mager ist. Somit kann die Oxidationswirkung der Partikel auf dem Katalysator **70** gefördert werden.

**[0144]** Ferner bewirkt die Beseitigung der Sauerstoffkontamination, daß das Reduktionsmittel verbrennt und seine Verbrennungswärme die Temperatur des Katalysators anhebt. Daher steigt bei dem Katalysator die Menge an Partikeln, die oxidiert und entfernt werden können, an und somit werden die abgelagerten Partikel leichter oxidiert und entfernt. Falls das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unmittelbar nachdem die Eingangsstromseite und die Ausgangsstromseite des Katalysators durch den Ventilkörper **71a** umgeschaltet worden sind, fett eingestellt wird, kann die andere Einfangoberfläche, auf welcher die Partikel nicht verbleiben oder abgelagert werden, die große Menge an Aktivsauerstoff freisetzen. Somit kann die große Menge an freigesetztem Aktivsauerstoff die abgelagerten Partikel sicherer oxidieren und entfernen. Natürlich kann ungeachtet der Umkehrung des Ventilkörpers **71a** das Luft-Kraftstoff-Verhältnis von Zeit zu Zeit fett eingestellt werden. Daher lagern sich die Partikel kaum auf dem Katalysator ab.

**[0145]** Als ein Verfahren zum Einstellen des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auf fett, kann z. B. die oben erwähnte Niedrigtemperaturverbrennung durchgeführt werden. Wenn von der Normaltemperaturverbrennung zur Niedrigtemperaturverbrennung umgeschaltet wird oder davor, kann die Abgaseingangsstromseite und die Abgasausgangsstromseite des Katalysators umgekehrt werden. Um das Luft-Kraftstoff-Verhältnis der umgebenden Atmosphäre fett einzustellen, kann ferner nur das Verbrennungs-Luft-Kraftstoff-Verhältnis fett eingestellt werden. Ferner kann zusätzlich zu der Haupt-

kraftstoffeinspritzung bei dem Kompressionstakt die Kraftstoffeinspritzvorrichtung Kraftstoff in den Zylinder bei dem Abgastrakt oder dem Expansionstrakt (Nach-Einspritzung) einspritzen oder Kraftstoff in den Zylinder bei dem Ansaugtakt (Vor-Einspritzung) einspritzen. Natürlich kann ein Intervall zwischen der Nach-Einspritzung oder der Vor-Einspritzung und der Hauptkraftstoffeinspritzung nicht vorgesehen werden. Ferner kann Kraftstoff zu dem Abgassystem zugeführt werden und, bei der vorliegenden Ausführungsform, kann die Kraftstoffzufuhr **74** Kraftstoff in die Nähe des Katalysators zuführen. Wie vorhergehend erwähnt, wird die Niedrigtemperaturverbrennung bei der niedrigen Motorlastseite ausgeführt und somit wird die Niedrigtemperaturverbrennung oft sofort nach einer Motorabbremsung, bei der eine Kraftstoffsenkung stattfindet, ausgeführt. Daher wird bei der im dritten Flußdiagramm unmittelbar nachdem der Ventilkörper **71a** in die Mittenposition gebracht worden ist, häufig die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt und somit kann, falls der Ventilkörper zu der gegenüberliegenden Absperrposition umgeschaltet worden ist, die abgelagerten Partikel bevorzugt oxidiert und entfernt werden.

**[0146]** Nebenbei gesagt, wenn  $\text{SO}_3$  vorhanden ist, bildet Calcium Ca in dem Abgas Calciumsulfat  $\text{CaSO}_4$  als Asche. Um zu verhindern, daß die Maschen des Katalysators durch das Calciumsulfat  $\text{CaSO}_4$  verstopft werden, kann ein Alkalimetall oder ein Alkalierdmetall mit einer Ionisationstendenz, die größer als die von Calcium Ca ist, wie beispielsweise Kalium K als das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** verwendet werden. Daher kombiniert  $\text{SO}_3$ , daß in das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** diffundiert ist, mit Kalium K, um Kaliumsulfat  $\text{K}_2\text{SO}_4$  zu bilden, und somit kombiniert Calcium Ca nicht mit  $\text{SO}_3$ , sondern durchläuft die Trennwände des Katalysators. Dementsprechend werden die Maschen des Katalysators nicht mit Asche verstopft. Somit ist es wünschenswert, als Aktivsauerstofffreisetzungsmittel **61** ein Alkalimetall oder ein Alkalierdmetall zu verwenden, das eine Ionisationstendenz aufweist, die stärker als Calcium Ca ist, beispielsweise Kalium K, Lithium Li, Cäsium Cs, Rubidium Rb, Barium Ba oder Strontium Sr.

**[0147]** Auch wenn lediglich ein Edelmetall wie beispielsweise Platin Pt auf dem Katalysator aufgetragen ist, kann Aktivsauerstoff von  $\text{NO}_2$  oder  $\text{SO}_3$ , das auf der Oberfläche des Platins gehalten wird, freigesetzt werden. In diesem Fall jedoch verschiebt sich eine Kurve, die die Menge an Partikeln G repräsentiert, die oxidiert und entfernt können, leicht nach rechts verglichen mit der durchgezogenen Linie, die in **Fig. 27** gezeigt ist. Ferner kann Cer als das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel verwendet werden. Das Cer absorbiert Sauerstoff, wenn die Sauerstoffkonzentration hoch ist ( $\text{Ce}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{CeO}_2$ ) und setzt Aktivsauerstoff frei, wenn die Sauerstoffkonzentration absinkt ( $2\text{CeO}_2 \rightarrow \text{Ce}_2\text{O}_3$ ). Um daher die Partikel zu oxidieren und zu entfernen, muß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis der umgebenden Atmosphäre des Katalysators in regelmäßigen oder unregelmäßigen Intervallen fett eingestellt werden. Anstelle von Cer kann als das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel Eisen Fe oder Zinn Sn verwendet werden.

**[0148]** Ferner ist es ebenso erlaubt, das  $\text{NO}_x$ -Absorptionsmittel zum Reinigen von  $\text{NO}_x$  als das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel zu verwenden. In diesem Fall muß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zumindest temporär fett eingestellt werden, um das absorbierte  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_x$  freizusetzen und zu reduzieren. Es wird bevorzugt, das Luft-Kraftstoff-Verhältnis unmittelbar nachdem die Eingangsstromseite und die Ausgangsstromseite des Katalysators vertauscht worden sind, fett einzustellen.

**[0149]** **Fig. 32** zeigt ein viertes Flußdiagramm zum Rege-

nerieren des Katalysators, das anstelle des ersten Flußdiagramms ausgeführt wird. Bei dem vorliegenden Flußdiagramm führt der Motor normalerweise die Normalverbrennung aus. Im folgenden werden die Unterschiede zwischen dem vorliegenden Flußdiagramm und dem ersten Flußdiagramm erläutert. Wenn es bei Schritt 401 bestimmt worden ist, daß der eingestellte Zeitpunkt zum Regenerieren des Katalysators erreicht ist, geht die Routine zu Schritt 402, und es wird bestimmt, ob die Temperatur (T) des Katalysators größer oder gleich einer vorbestimmten Temperatur (T1) ist. Wenn das Ergebnis negativ ist, geht die Routine zu Schritt 403 und es wird bestimmt, ob der augenblickliche Motorbetriebszustand innerhalb eines Bereiches, bei welchem die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt werden kann. Der Motor, der bei dem ersten Flußdiagramm verwendet wird, schaltet zwischen Niedrigtemperaturverbrennung und Normalverbrennung in Übereinstimmung mit dem Speicherabbild, das in Fig. 11 gezeigt ist. Jedoch kann in dem Bereich (II) des Speicherabbilds, das in Fig. 11 gezeigt ist, die Niedrigtemperaturverbrennung nicht immer ausgeführt werden. Bei der niedrigeren Motorlastseite des Bereichs (II) kann die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt werden. [0150] Wenn das Ergebnis bei Schritt 403 positiv ist, geht die Routine zu Schritt 407 und die Niedrigtemperaturverbrennung wird bei einem stöchiometrischen oder fetten Luft-Kraftstoff-Verhältnis, d. h., dem Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis ausgeführt. Somit sinkt die Sauerstoffkonzentration der umgebenden Atmosphäre des Katalysators und  $\text{NO}_x$  wird von dem Katalysator freigesetzt. Auch wenn die Temperatur des Katalysators niedrig ist, wird durch Verwenden großer Mengen an CO und HC mit einer hohen Aktivierung, die in dem Abgas der Niedrigtemperaturverbrennung enthalten sind, das freigesetzte  $\text{NO}_x$  bevorzugt reduziert und gereinigt. [0151] Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 402 positiv ist, d. h., wenn die Temperatur des Katalysators relativ hoch ist, geht die Routine zu Schritt 404 und es wird bestimmt, ob eine Menge an schädlichem Material (E), z. B. HC, CO oder  $\text{NO}_x$ , die durch die Normalverbrennung bei dem mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis ausgestoßen wird, größer ist als die vorbestimmte Menge (E1). Wenn das Ergebnis positiv ist, d. h., wenn eine Menge an Schadstoffen in dem Abgas relativ groß ist, geht die Routine zu Schritt 403 und es wird bestimmt, ob der momentane Motorbetriebszustand innerhalb des Bereichs ist, bei welchem die Niedrigtemperaturverbrennung ausgeführt werden kann. Wenn das Ergebnis positiv ist, geht die Routine zu Schritt 407 und die Niedrigtemperaturverbrennung wird bei dem Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis zum Regenerieren des Katalysators ausgeführt. [0152] Wenn andererseits das Ergebnis bei Schritt 404 negativ ist, d. h., wenn eine Menge an Schadstoffen in dem Abgas relativ gering ist, geht die Routine zu Schritt 405. Bei Schritt 405 wird der Ventilkörper 71a von der Mittenposition zu der Position eingestellt, bei welcher der Ventilkörper leicht in Richtung der einen Absperrposition geschwenkt und somit wird der andere restliche Teil des Abgases veranlaßt, den Katalysator 70 zu umgehen. Da zu diesem Zeitpunkt die Menge an Schadstoffen in dem Abgas klein ist, tritt kein Problem auf. Als nächstes führt die Kraftstoffzufuhreinheit 74 Kraftstoff in die Nähe des Katalysators zu. Der zugeführte Kraftstoff wird durch Verwenden des auf dem Katalysator aufgetragenen Oxidationskatalysatormittels oxidiert und Sauerstoff wird bevorzugt verbraucht, da die Temperatur des Katalysators relativ hoch ist, und bewirkt, daß die Sauerstoffkonzentration in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators absinkt. Daher wird  $\text{NO}_x$  von dem Katalysator freigesetzt und das freigesetzte  $\text{NO}_x$  wird

bevorzugt reduziert und gereinigt.

[0153] Der zugeführte Kraftstoff wird hauptsächlich verwendet, um das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis zu machen, wie in dem ersten Flußdiagramm erläutert. Daher ist eine zum Regenerieren des Katalysators erforderliche Menge an Kraftstoff kleiner als die bei der Regeneration unter Verwendung der Niedrigtemperaturverbrennung.

[0154] Wenn bei dem vorliegenden Flußdiagramm die Temperatur des Katalysators niedrig ist oder wenn eine Menge an Schadstoffen in dem Abgas der Normalverbrennung relativ groß ist und wenn der momentane Motorbetriebszustand innerhalb eines Bereiches ist, bei welchem die Niedrigtemperaturverbrennung nicht ausgeführt werden kann, wird der Kraftstoff in die Nähe des Katalysators zugeführt, um den Katalysator bei den Schritten 405 und 406 zu regenerieren. Genauer gesagt, wenn in diesem Fall die Menge an Schadstoffen groß ist, kann das Abgas nicht veranlaßt werden, den Katalysator zu umgehen. In diesem Fall ist es schwierig, den Kraftstoffverbrauch im Vergleich zum Stand der Technik zu verringern, aber eine derartige Regeneration wird nicht immer ausgeführt. Die oben erwähnte Regeneration, bei der der Kraftstoffverbrauch verringert ist, wird für einen langen Zeitraum ebenso ausgeführt. Gemäß dem vorliegenden Flußdiagramm kann daher der Kraftstoffverbrauch bei der Regeneration des Katalysators im Vergleich zum Stand der Technik verringert werden.

[0155] Bei der vorliegenden Ausführungsform trägt der Katalysator selbst das Aktivsauerstofffreisetzungsmittel und der von dem Aktivsauerstofffreisetzungsmittel freigesetzte Aktivsauerstoff oxidiert und entfernt die Partikel. Jedoch begrenzt dies nicht die vorliegende Erfindung. Zum Beispiel kann ein Partikeloxidationsstoff wie Aktivsauerstoff und  $\text{NO}_2$  das genauso wie Aktivsauerstoff funktioniert, aus dem Katalysator oder einem darauf aufgetragenen Material freigesetzt werden, oder kann in den Katalysator von außen her einströmen. Für den Fall, daß der Partikeloxidationsstoff von außen in den Katalysator einströmt, können, wenn die erste Einfangoberfläche und die zweite Einfangoberfläche auf der Trennwand abwechselnd zum Einfangen der Partikel verwendet werden, auf einer Einfangoberfläche, die nun auf der Abgasausgangsstromseite liegt, keine Partikel neuerlich auf den restlichen Partikel abgelagert werden und restliche Partikel allmählich durch den Partikeloxidationsstoff, der von der anderen Einfangoberfläche einströmt, oxidiert und entfernt werden, und somit die restlichen Partikel nach einer gewissen Zeitdauer vollständig entfernt werden. Während dieser Zeitdauer kann die andere Einfangoberfläche die Partikel einfangen und die eingefangenen Partikel werden durch den Partikeloxidationsstoff auf der anderen Einfangoberfläche oxidiert und entfernt. Somit können die gleichen Effekte, wie die zuvor erwähnten, erzielt werden. In diesem Fall, wenn die Temperatur des Katalysators ansteigt, steigt natürlich die Temperatur der Partikel selbst an, und somit können sie leicht oxidiert und davon entfernt werden.

[0156] Obwohl die Erfindung in bezug auf ihre spezifischen Ausführungsformen beschrieben worden ist, sollte es ersichtlich sein, daß durch den Fachmann zahlreiche Abwandlungen dazu vorgenommen werden können, ohne von dem Grundkonzept und dem Umfang der Erfindung abzuweichen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Reinigen von Abgas eines Verbrennungsmotors mit:  
einem Katalysator, der in dem Abgassystem angeord-

net ist, welcher  $\text{NO}_x$  absorbiert, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in seiner umgebenden Atmosphäre mager ist und welcher regeneriert wird, wenn das Luft-Kraftstoff-Verhältnis ein Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist, das das stöchiometrische oder fette 5 Luft/Kraftstoff-Verhältnis ist;

einer Bypassvorrichtung, um es zumindest einem Teil des Abgases zu ermöglichen, den Katalysator zu umgehen; und

einer Kraftstoffzufuhreinrichtung zum Zuführen von 10 Kraftstoff in die Nähe des Katalysators; wobei der Motor eine Inertgaszufuhreinrichtung zum Zuführen eines Inertgases in den Zylinder aufweist, und eine Niedrigtemperaturverbrennung, bei welcher eine Menge an Inertgas in dem Zylinder größer ist als die 15 Grenzmenge eines Inertgases, das die maximale Menge an erzeugtem Ruß verursacht, und eine Normalverbrennung bei dem mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnis durchführen kann;

wobei wenn der Katalysator regeneriert wird, 20 eine erste Regenerationsvorrichtung, bei welcher das Abgas der Niedrigtemperaturverbrennung bei dem Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft-Kraftstoff- 25 Verhältnis macht, und

eine zweite Regenerationsvorrichtung, bei welcher die Bypassvorrichtung zumindest einen Teil des Abgases veranlaßt, bei der Normalverbrennung den Katalysator zu umgehen und der durch die Kraftstoffzufuhreinrichtung 30 zugeführte Kraftstoff das Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der umgebenden Atmosphäre des Katalysators zu dem Regenerations-Luft-Kraftstoff-Verhältnis macht, ausgewählt werden kann.

2. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 1, wobei wenn die Temperatur des Katalysators niedriger ist, oder niedriger geschätzt wird, als eine vorbestimmte Temperatur, die erste Regenerationsvorrichtung zum Regenerieren des Katalysators ausgewählt wird, und wenn die Tem- 40 peratur des Katalysators höher ist, oder höher eingeschätzt wird, als die vorbestimmte Temperatur, die zweite Regenerationsvorrichtung zum Regenerieren des Katalysators ausgewählt wird.

3. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 2, wobei auch wenn die Temperatur des Katalysators höher ist, oder höher geschätzt wird, als die vorbestimmte Temperatur, die erste Regenerationsvorrichtung ausgewählt wird, wenn eine Schadstoffmenge, die von dem Zylinder bei der 50 Normalverbrennung ausgestoßen wird, größer ist, oder größer geschätzt wird, als eine vorbestimmte Schadstoffmenge.

4. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 2, wobei der Katalysator eine Einfangwand zum Einfangen von Partikeln in dem Abgas aufweist und auch wenn die Temperatur des Katalysators größer ist, oder größer geschätzt wird, als die vorbestimmte Temperatur, die erste Regenerationsvorrichtung ausgewählt wird, wenn eine Partikel- 60 menge, die aus dem Zylinder bei der Normalverbrennung ausgestoßen wird, größer ist, oder größer geschätzt wird, als eine vorbestimmte Menge an Partikeln.

5. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 4, wobei die auf der Einfangwand eingefangenen Partikel oxidiert werden.

6. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Ver-

brennungsmotors nach Anspruch 5, wobei die Einfangwand ein Aktiv-Sauerstofffreisetzungsmittel trägt, und Aktiv-Sauerstoff, der von dem Aktiv-Sauerstofffreisetzungsmittel freigesetzt worden ist, die auf der Einfangwand eingefangenen Partikel oxidiert.

7. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 6, wobei das Aktiv-Sauerstofffreisetzungsmittel Sauerstoff aufnimmt und hält, wenn überschüssiger Sauerstoff in der Umgebung vorhanden ist, und den gehaltenen Sauerstoff als Aktiv-Sauerstoff freigibt, wenn die Sauerstoffkonzentration in der Umgebung sinkt.

8. Vorrichtung zum Reinigen des Abgases eines Verbrennungsmotors nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Vorrichtung eine Umkehrvorrichtung zum Umkehren der Abgaseingangsstromseite und der Abgasausgangsstromseite des Katalysators und die Bypassvorrichtung in einstückiger Form aufweist oder die Umkehrvorrichtung und die Bypassvorrichtung getrennt aufweist, wobei die Einfangwand eine erste Einfangoberfläche und eine zweite Einfangoberfläche aufweist, und die Umkehrvorrichtung die Abgaseingangsstromseite und die Abgasausgangsstromseite des Katalysators umkehrt bzw. vertauscht, so daß abwechselnd die erste Einfangoberfläche und die zweite Einfangoberfläche zum Einfangen der Partikel verwendet wird.

---

Hierzu 24 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

Fig. 1

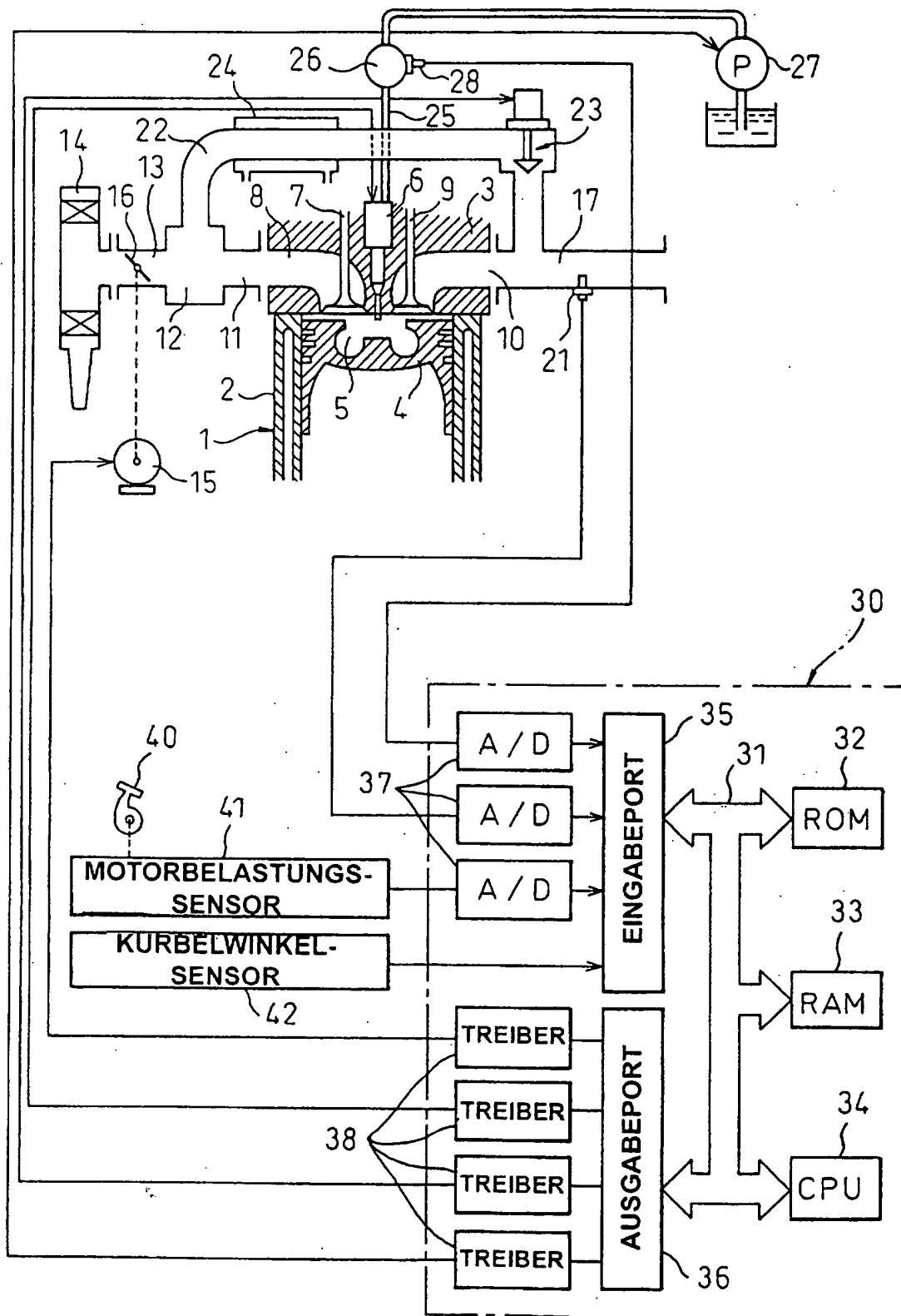


Fig. 2

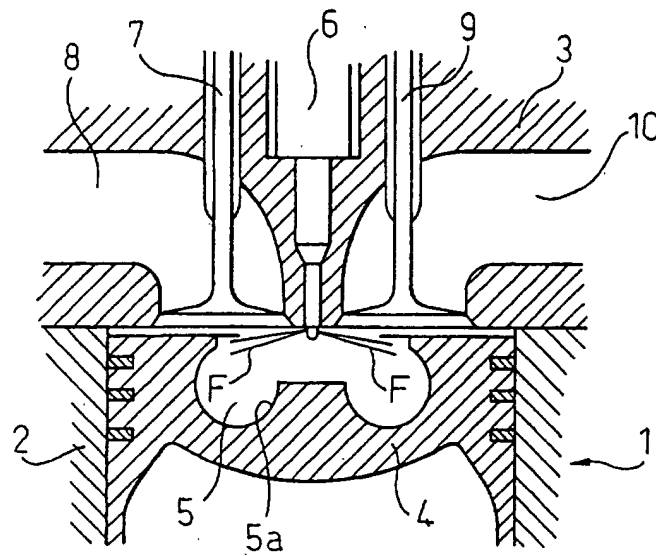


Fig. 3

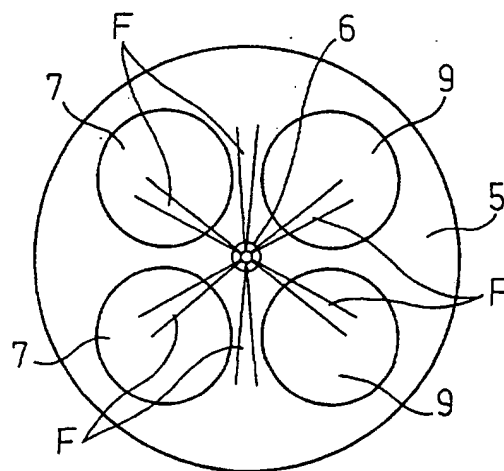




Fig. 4

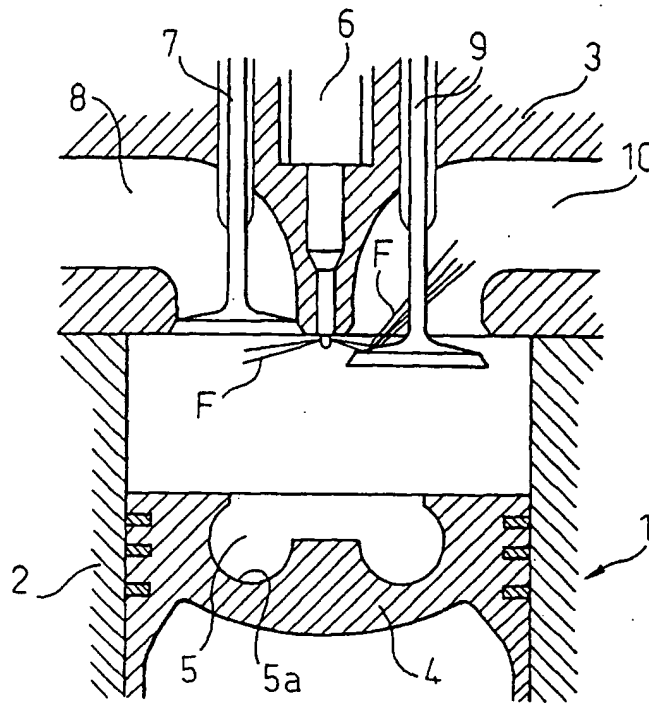


Fig. 5

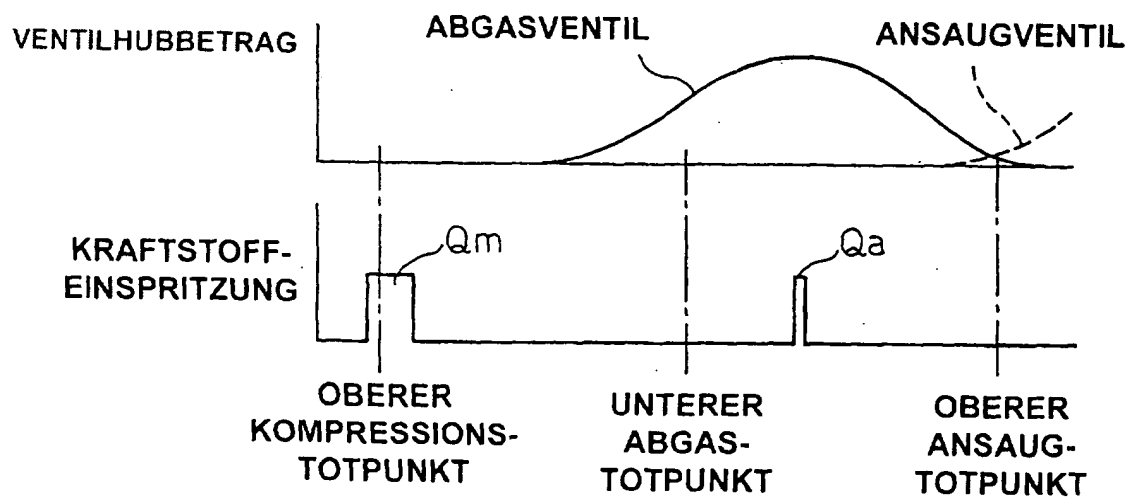


Fig. 6

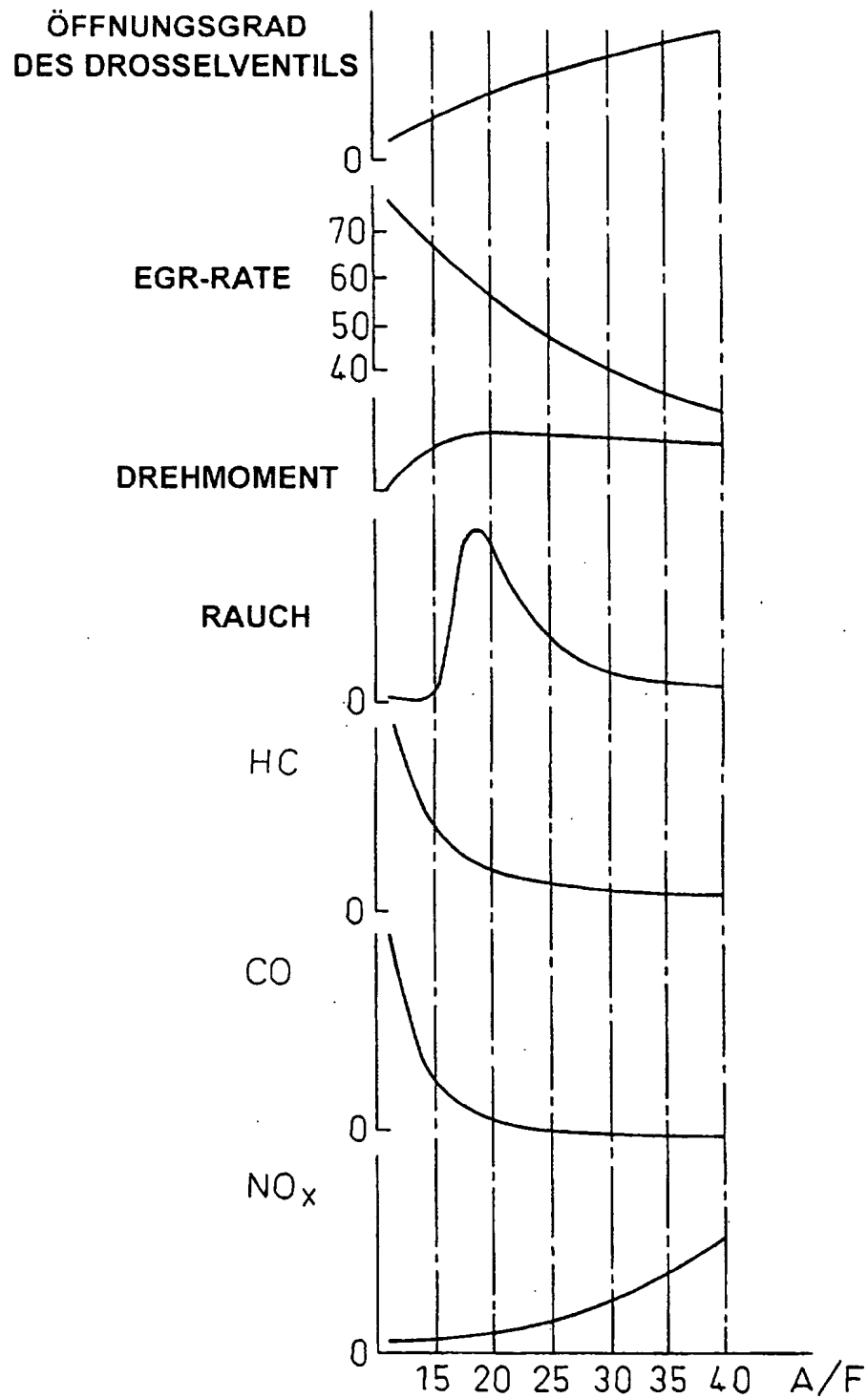


Fig.7(A)

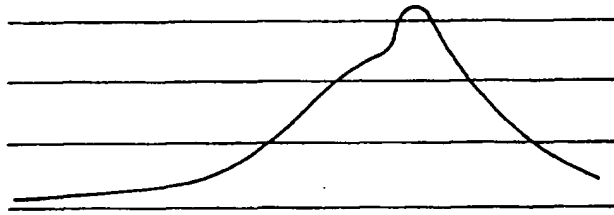


Fig.7(B)

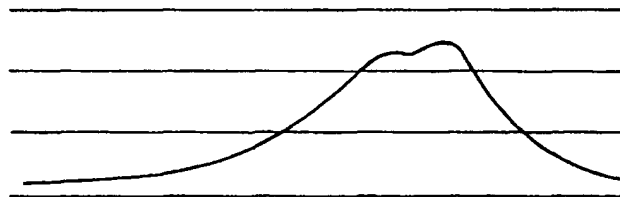


Fig. 8

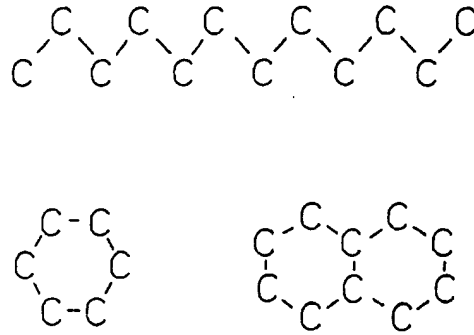


Fig. 9

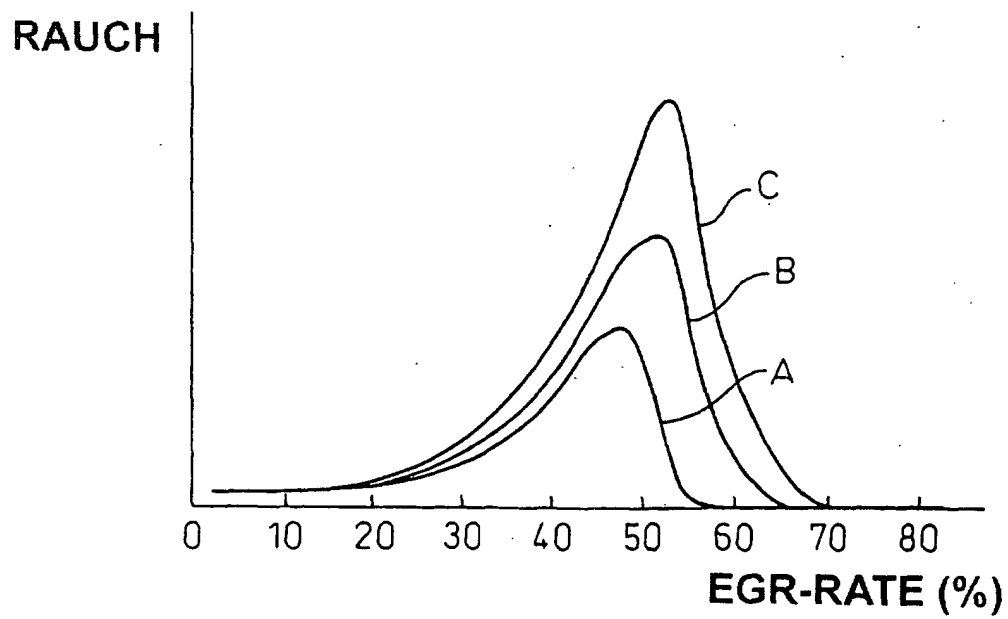


Fig.10

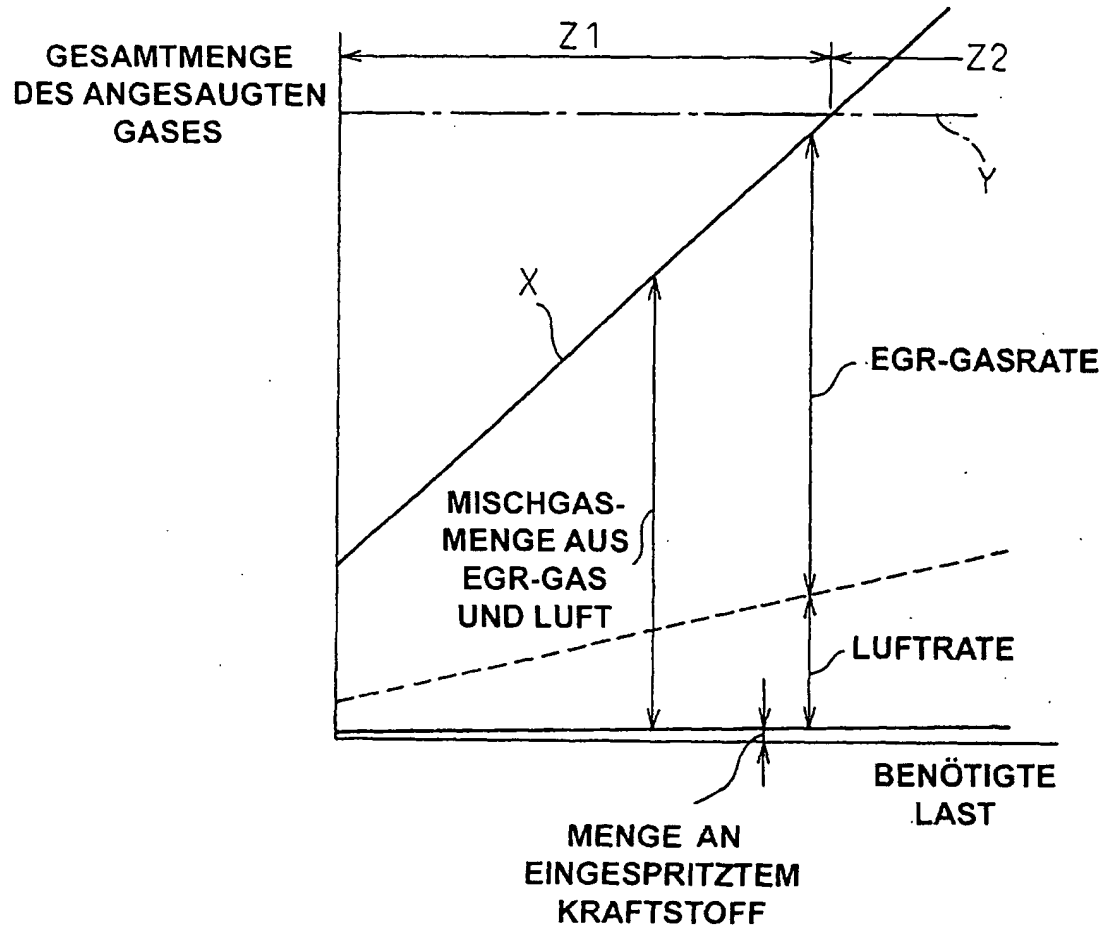


Fig.11

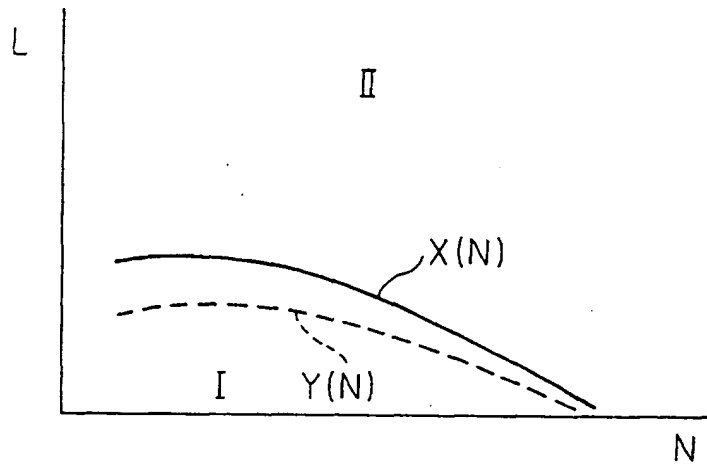


Fig.12

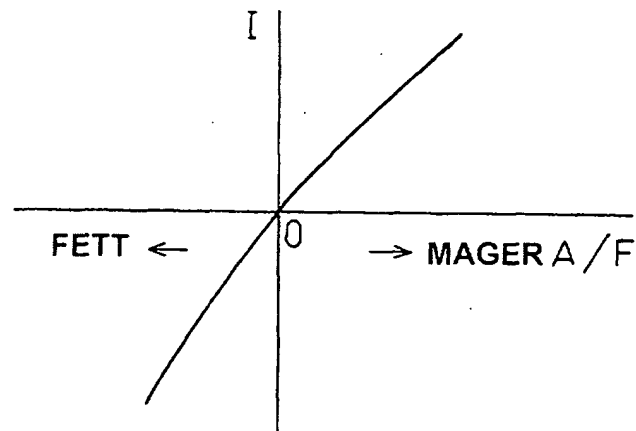




Fig.13

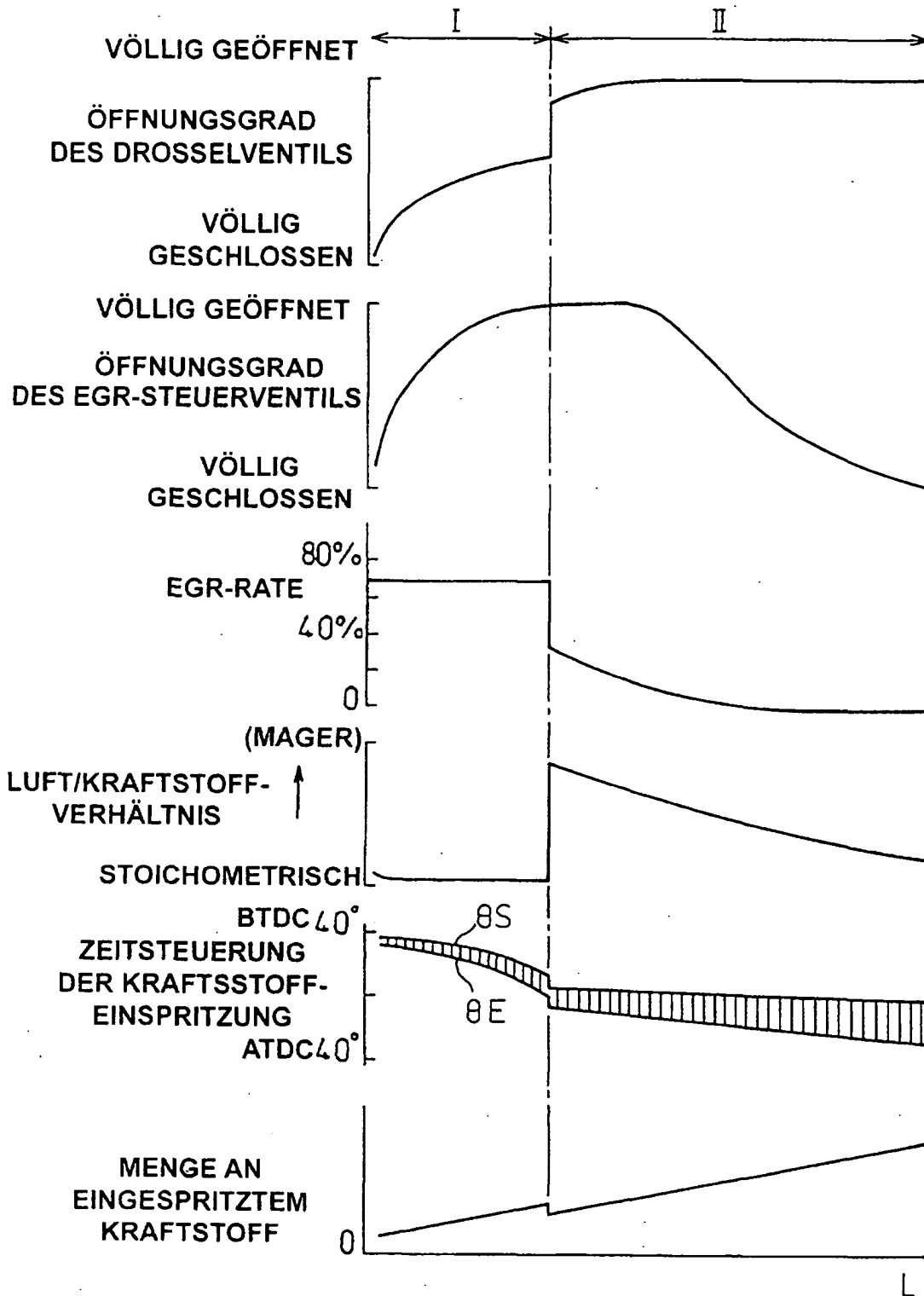


Fig.14

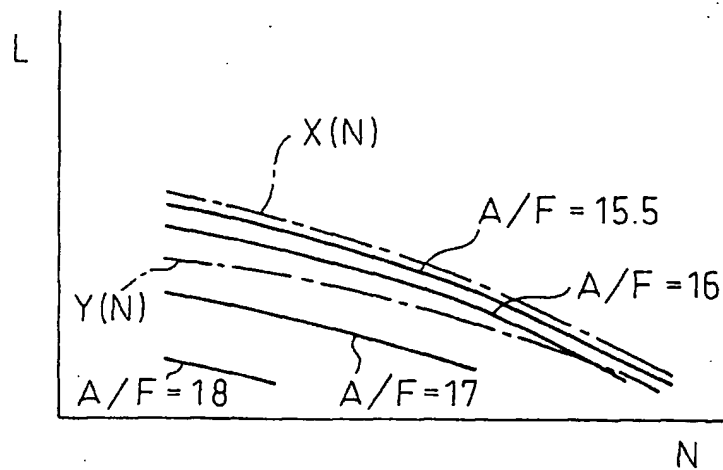


Fig.15(A)

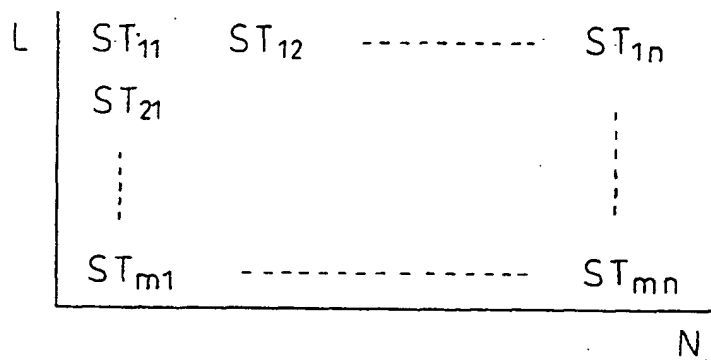


Fig.15(B)

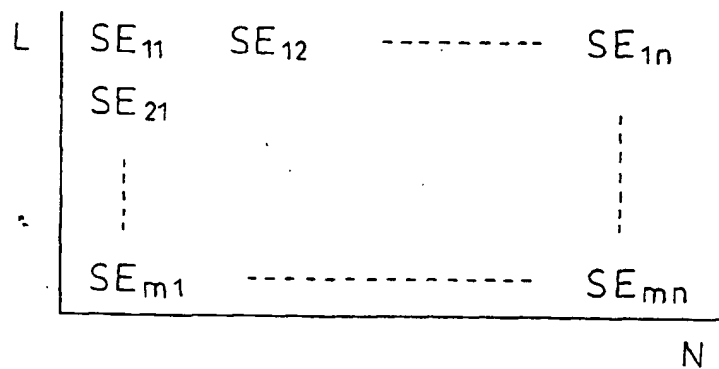


Fig.16

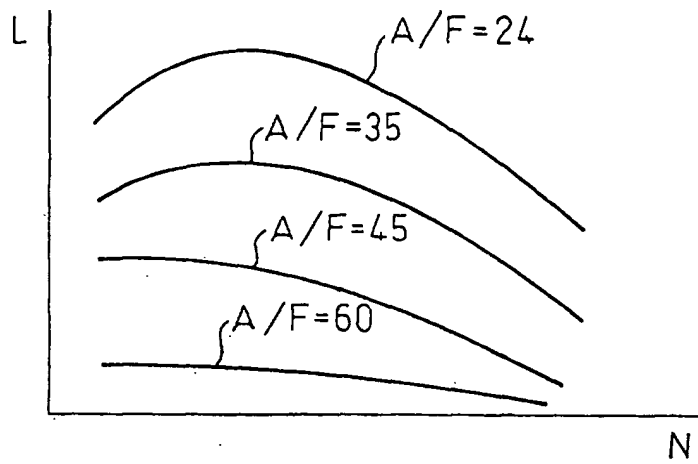


Fig.17(A)

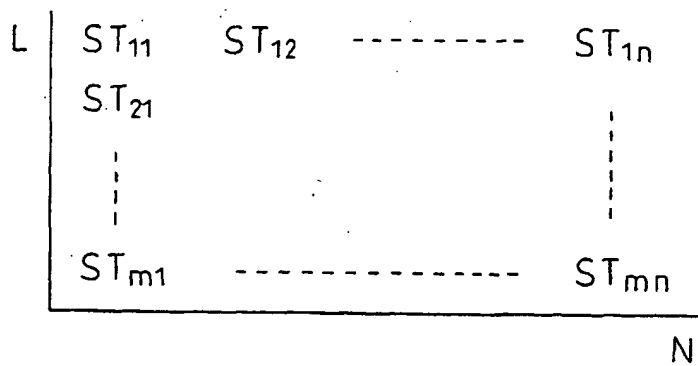


Fig.17(B)

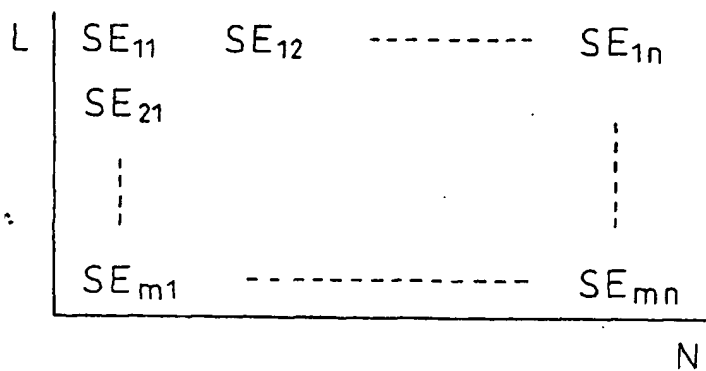


Fig.18

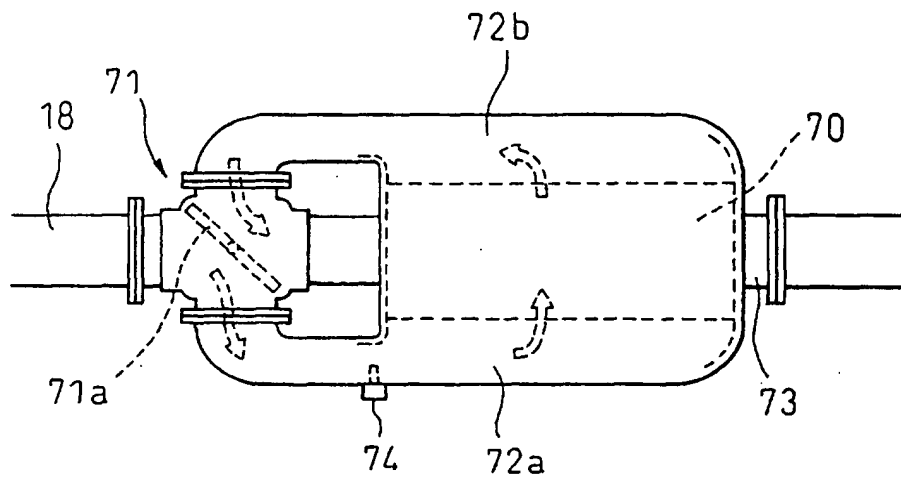


Fig.19

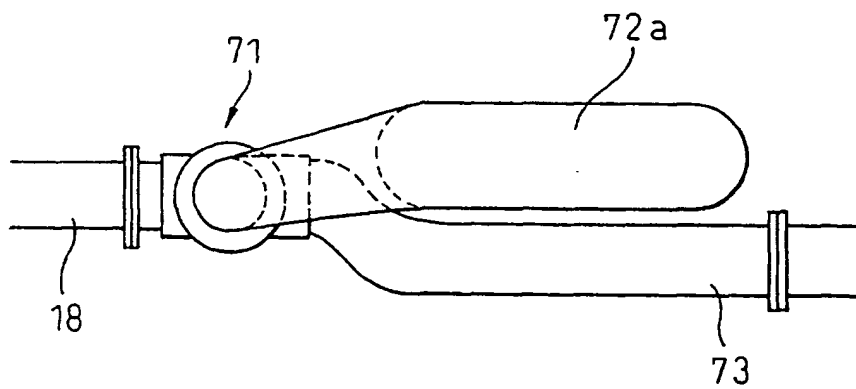


Fig. 20

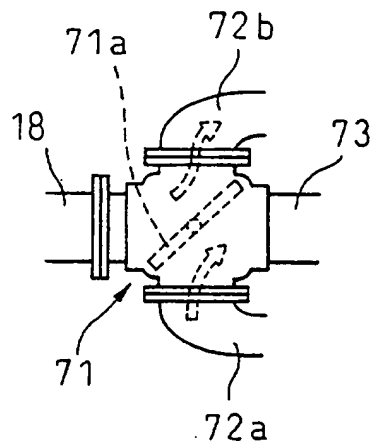


Fig. 21

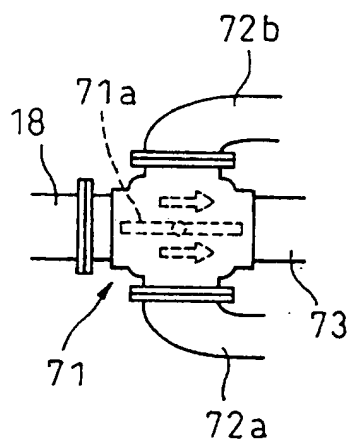


Fig. 22 (A)

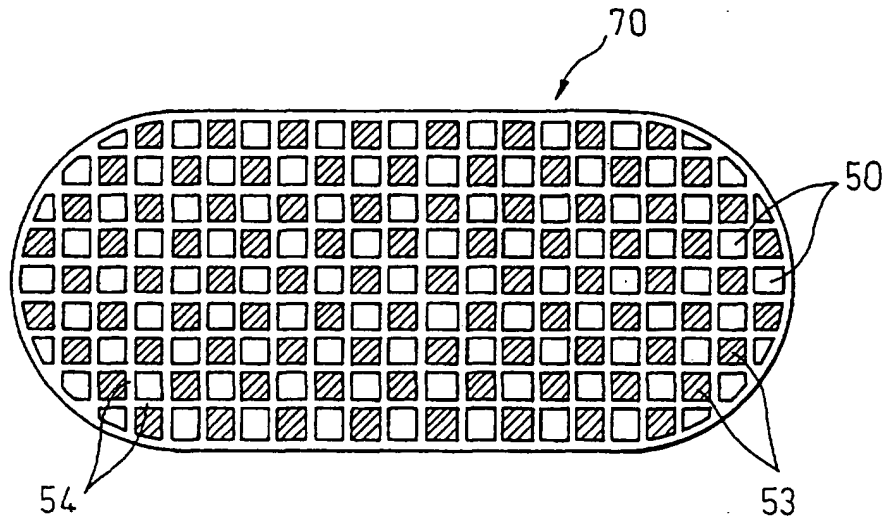


Fig. 22 (B)

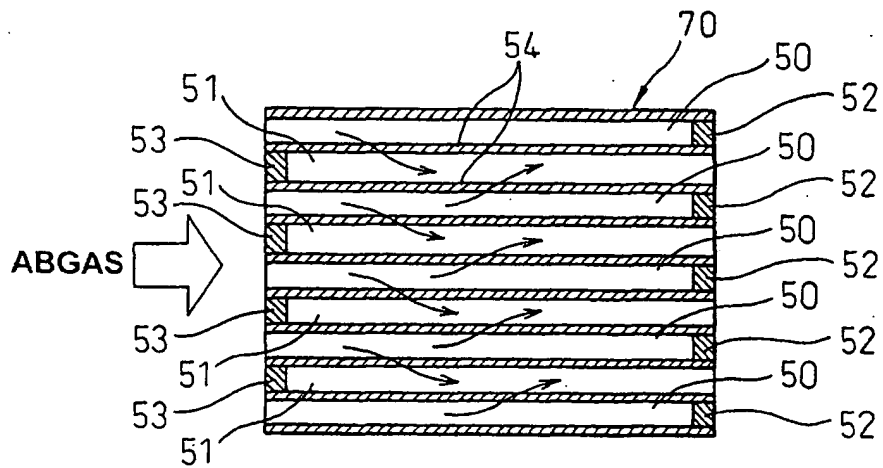




Fig.23(A)

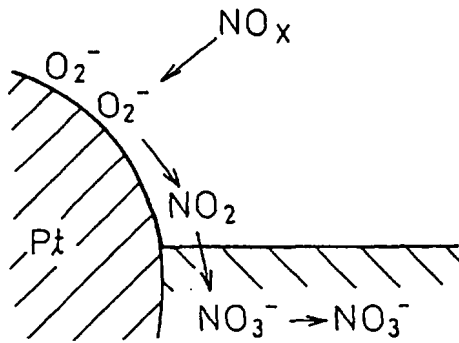


Fig.23(B)

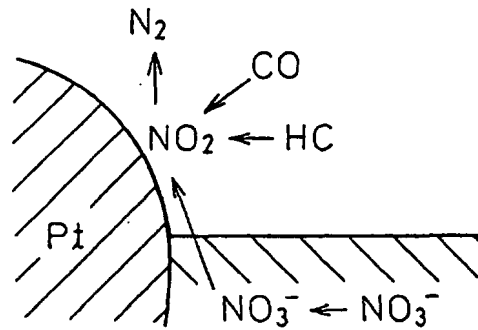


Fig. 24(A)

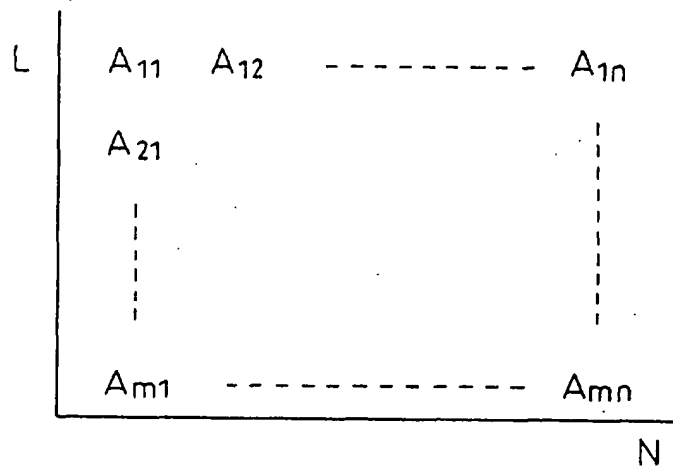


Fig. 24(B)

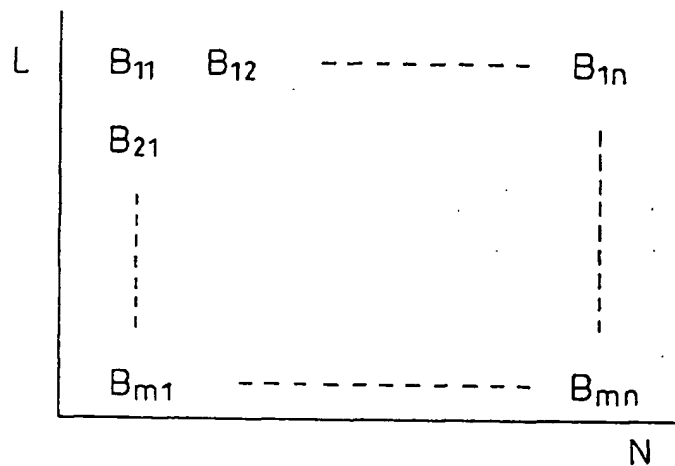


Fig.25

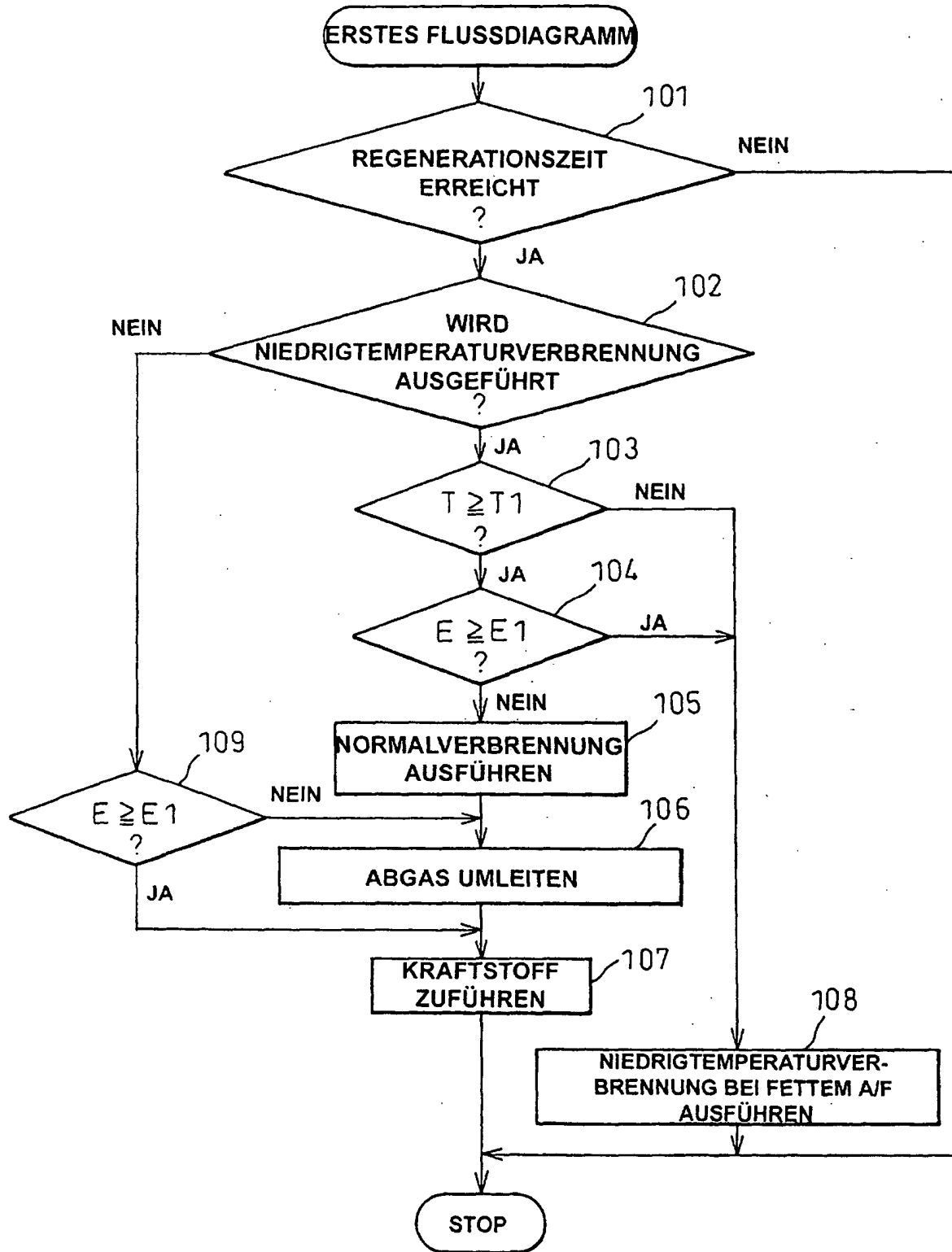


Fig. 26(A)

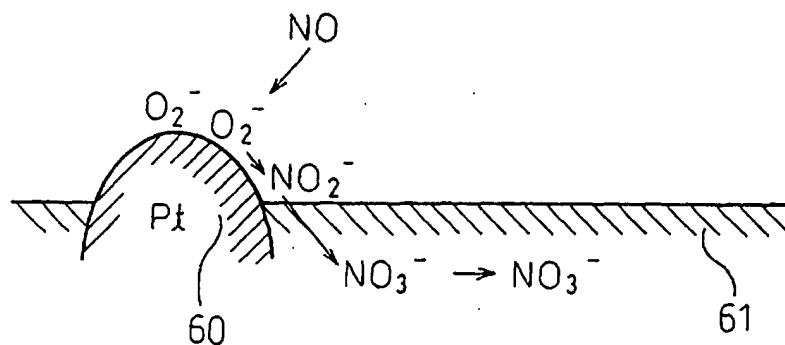


Fig. 26 (B)

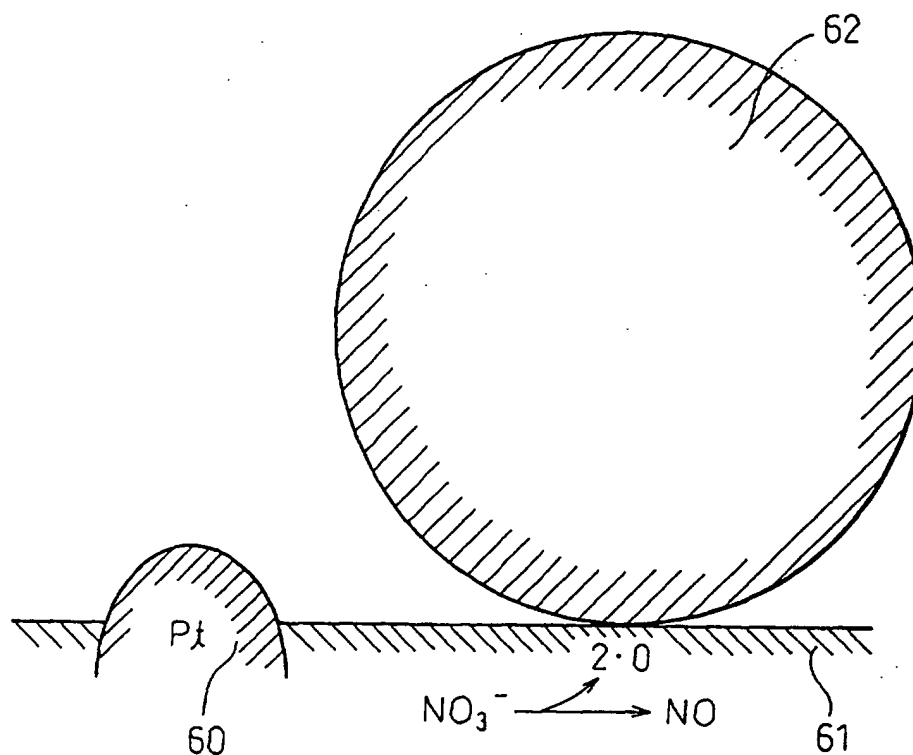


Fig. 27

PARTIKELMENGE (G), DIE  
OXIDIERT UND ENTFERNT  
WERDEN KANN  
(g/s)

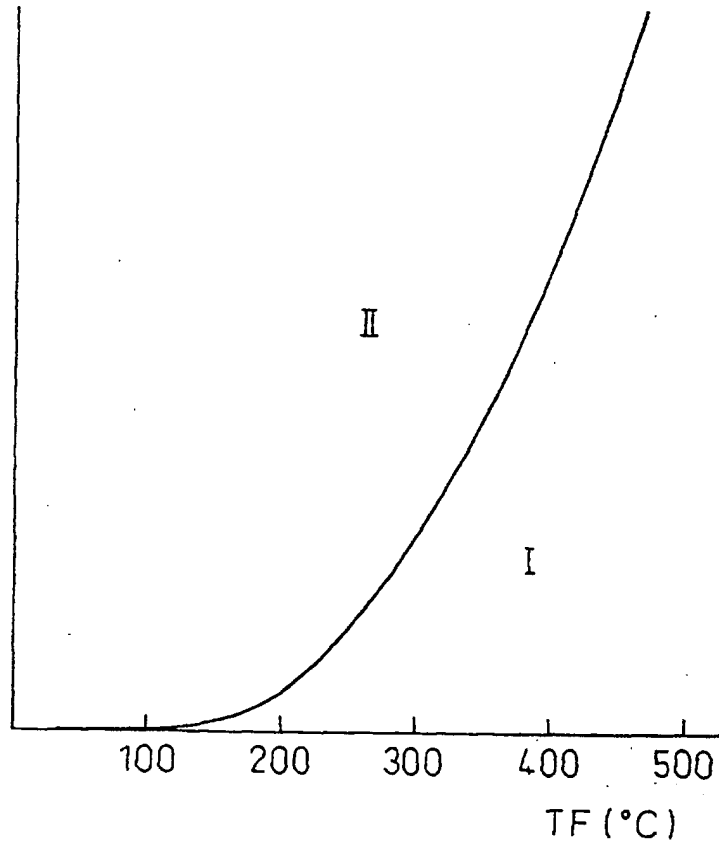


Fig.28(A)

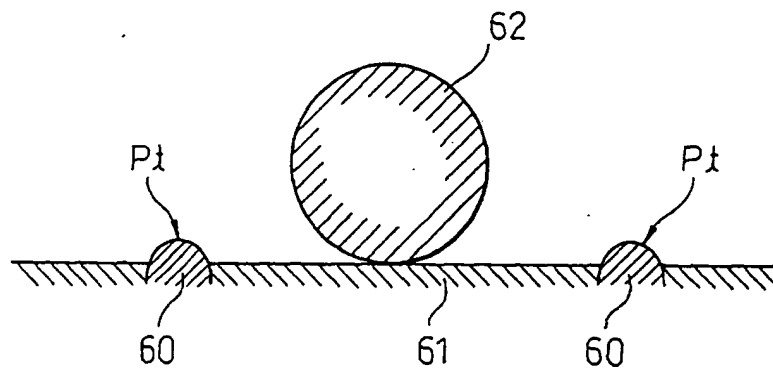


Fig.28(B)

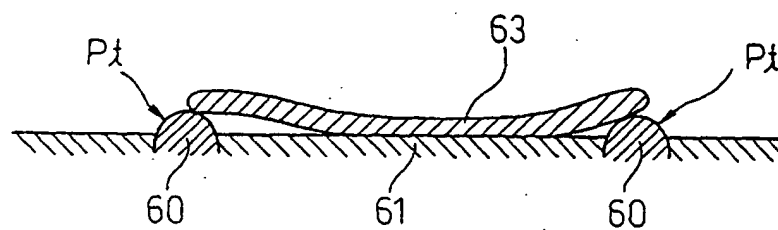


Fig.28(C)

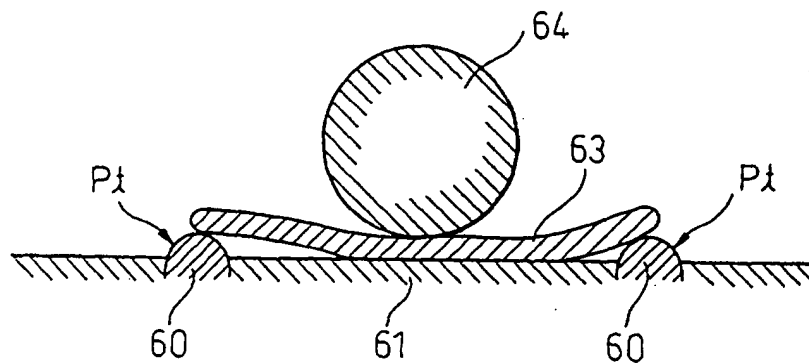


Fig.29

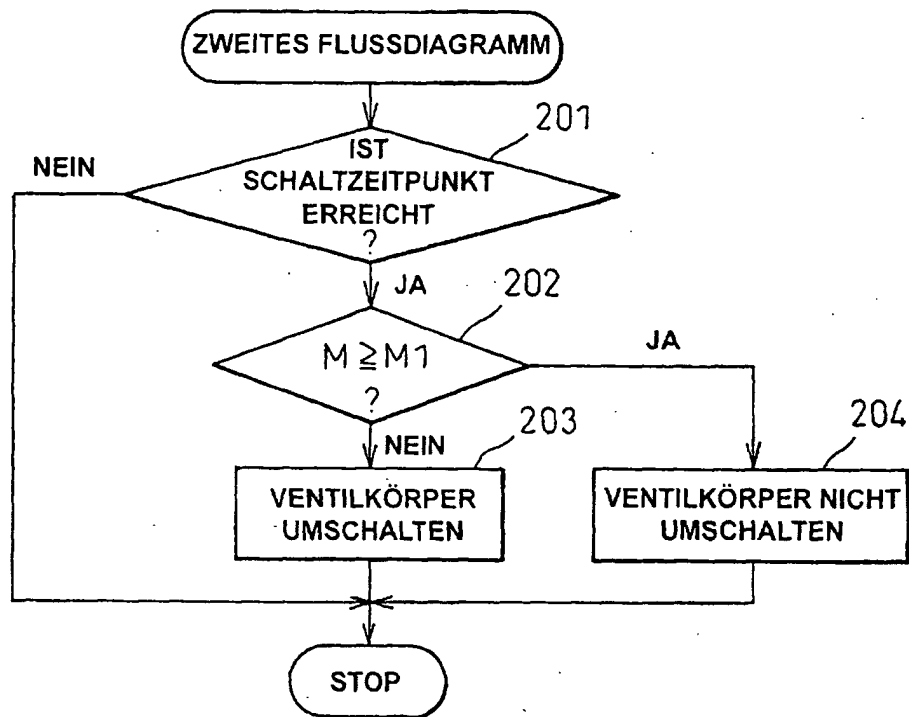


Fig. 30 (A)

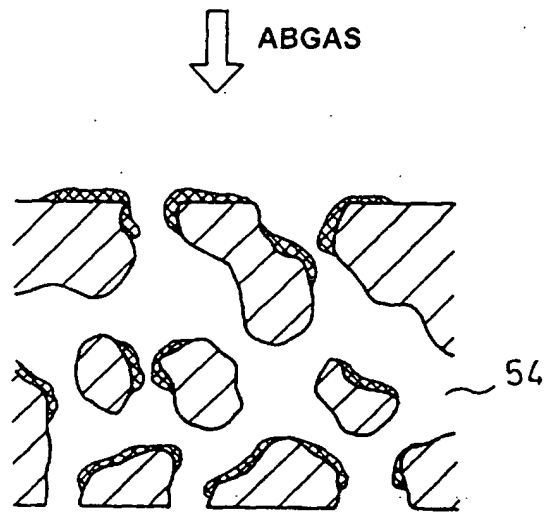


Fig. 30 (B)

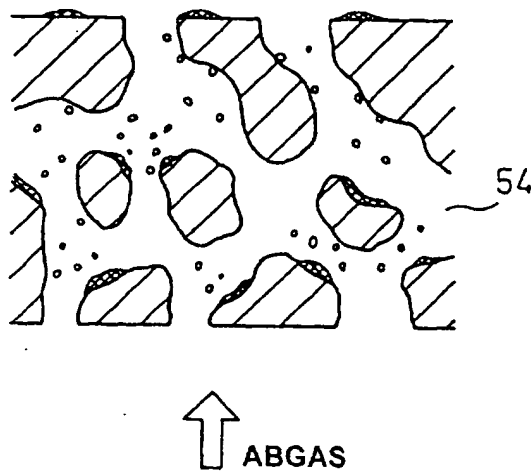




Fig.31

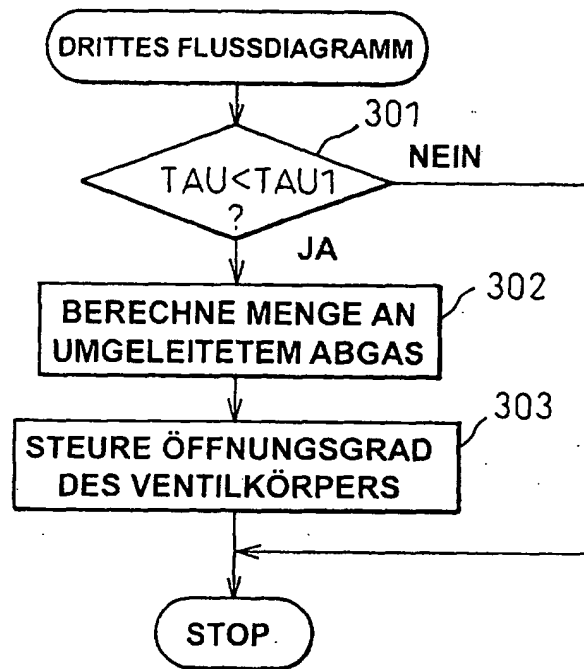
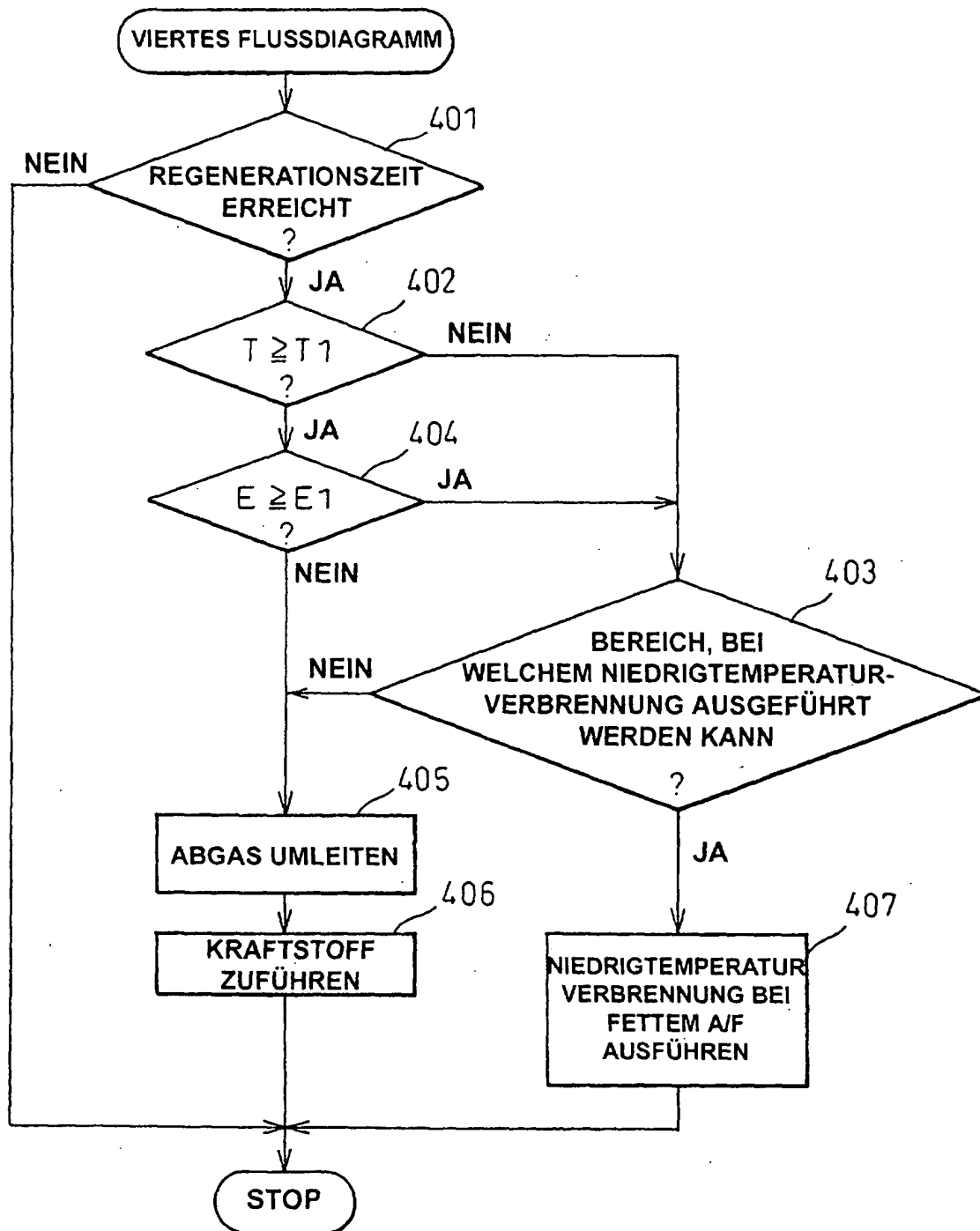


Fig.32



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**